

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Escola de Engenharia Elétrica
Instituto de Informática
Curso de Engenharia de Computação

Lucas Eishi Pimentel Mizusaki

Comparação de Mecanismos de Comunicação para a Casa Inteligente

Trabalho de Diplomação

Orientador: Prof. Dr. Valter Roesler

Porto Alegre, Junho 2009

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

Reitor: Prof. Carlos Alexandre Netto

Vice-Reitor: Prof. Rui Vicente Oppermann

Pró-Reitora de Graduação: Profa. Valquiria Link Bassani

Diretor do Instituto de Informática: Prof. Flávio Rech Wagner

Coordenador do ECP: Prof. Gilson Inácio Wirth

Bibliotecária-Chefe do Instituto de Informática: Beatriz Regina Bastos Haro

SUMÁRIO

LISTA DE ABREVIACÕES E SIGLAS	3
LISTA DE FIGURAS	4
LISTA DE TABELAS	6
RESUMO	7
ABSTRACT	8
1. INTRODUÇÃO.....	9
1.1. Contextualização	9
1.2. Aplicações	11
1.3. Mercado	12
1.4. Objetivos do Trabalho	17
1.5. Motivações	18
2. ANÁLISE DO ESTADO DA ARTE	19
2.1. A Casa do Futuro	19
2.1.1. Interatividade	21
2.1.2. Serviços	23
2.1.3. Economia	28
2.1.4. Segurança.....	29
2.1.5. Conectividade	30
2.2. Conclusões.....	32
3. ESCOLHA E ESTUDO DOS PADRÕES	33
3.1. Sistemas de comunicação para a <i>casa inteligente</i>	33
3.2. Considerações sobre os meios físicos presentes numa casa	34
3.3. Padrões de comunicação.....	35
3.3.1. O X10:	36
3.3.2. Universal Powerline Bus (UPB):.....	39
3.3.3. O Z-Wave	42
3.3.4. O INSTEON	44
3.3.5. O Ethernet.....	47
3.3.6. O Home Plug	49
3.3.7. O Wi-Fi.....	51
3.3.8. O HomePNA	52
3.3.9. O FireWire.....	54
3.3.10. O EnOcean.....	55
3.3.11. O Bluetooth	55
3.3.12. O ZigBee	56
3.3.13. Infravermelho	58
3.4. Outros padrões.....	59
4. USO E COMPARAÇÃO DOS PADRÕES	61

4.1.	Arquiteturas para o sistema de controle da <i>casa inteligente</i>	61
4.1.1.	Sistemas descentralizados	62
4.1.2.	Sistemas centralizados	63
4.1.3.	Sistemas hierárquicos	65
4.2.	Interface com o usuário	66
4.3.	O Control 4	67
4.4.	Caracterização dos padrões	69
4.5.	Métricas escolhidas.....	69
4.5.1.	Categorias escolhidas	71
4.6.	Classificação dos padrões.....	71
4.6.1.	O X10	71
4.6.2.	O UPB	72
4.6.3.	Z-WAVE	72
4.6.4.	INSTEON	73
4.6.5.	Ethernet.....	74
4.6.6.	HomePlug	74
4.6.7.	Wi-Fi.....	74
4.6.8.	HomePNA	75
4.6.9.	FireWire.....	75
4.6.10.	EnOcean.....	75
4.6.11.	Bluetooth	75
4.6.12.	ZigBee	76
4.6.13.	Infravermelho	76
5.	CONCLUSÕES	77
5.1.	Considerações Finais	77
5.2.	Tabela Comparativa dos Resultados	79
6.	BIBLIOGRAFIA	81
	GLOSSÁRIO.....	87
	APÊNDICE 1: Sites das Empresas e Projetos Citados	88
	APÊNDICE 2: TG 1	89

LISTA DE ABREVIACOES E SIGLAS

FHSS:	Frequency Hopping Spread Spectrum.
HVAC:	Home Venting and Air Conditioning.
ISM:	Industrial, Scientific and Medical.
LAN:	Local Area Network.
LED:	Light Emitting Diode.
PDA:	Personal Digital Assistant.
PLC:	Power Line Communication.
RF:	Rádio Frequência.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.3.1 - Projeção do crescimento do mercado europeu de sistemas de casa inteligente em 2004	13
Figura 1.3.2 - Análise e projeção do mercado de Andrew Mcwillians	13
Figura 1.3.3 - Crescimento do acesso à banda larga no Brasil.....	15
Figura 1.3.4 - Fatores importantes para o cliente de automação residencial.....	16
Figura 1.3.5 - Fatores de maior influência para construtoras	17
Figura 2.1.1: Primeiro controle remoto, ligado com fios ao televisor, 1955.....	20
Figura 2.1.2: Controle remoto Control 4 e opção para celular	21
Figura 2.1.3: Preferência por estilos de controle	22
Figura 2.1.4: Instalações de piso aquecido	23
Figura 2.1.5: Instalações de calefação hidráulica	24
Figura 2.1.6: Esquema de instalação de aspiração central e aspirador.....	24
Figura 2.1.7: Exemplo de ambientação luminotécnica.....	25
Figura 2.1.8: Sistema de Home Theater e esquema de posicionamento de caixas de som.	26
Figura 2.1.9: Roomba e Robo Mower RL 850	27
Figura 2.1.10: Robô enfermeira e de serviço	27
Figura 2.1.11: Sistema de resfriamento natural, permite o fluxo de ar natural de acordo com a temperatura	28
Figura 2.1.12: Sistema de segurança Urban Security Systems	29
Figura 2.1.13: Central de segurança digital e câmera com sensor IR	30
Figura 2.1.14: Cabeamento estruturado em edifícios	31
Figura 3.3.1 - Forma de onda da transmissão dos dados no protocolo X10, com os tempos médios de cada transmissão.....	36
Figura 3.3.2 - Identificação de códigos	37
Figura 3.3.3: Módulo de controle de tomada para o X10.....	38
Figura 3.3.4 - Comunicação do sinal UPB	39
Figura 3.3.5 - Frame UPB de comunicação	40
Figura 3.3.6 – Palavra de controle do Frame UPB.....	40
Figura 3.3.7: Exemplo de rede Mesh.....	42
Figura 3.3.8 – Exemplo de tabela de roteamento do Z-WAVE	42
Figura 3.3.9 – Frame Z-WAVE.....	43
Figura 3.3.10 – Transição de fase do INSTEON.....	44
Figura 3.3.11 – Mensagem padrão do INSTEON	45
Figura 3.3.12 – FLAGS do INSTEON.....	45
Figura 3.3.13 – Start codes do INSTEON	46
Figura 3.3.14 - Taxas de transmissão do INSTEON	47
Figura 3.3.15 – Cabos Cat-5	48
Figura 3.3.16 – QPSK	50
Figura 3.3.17 – Frames do HomePlug.....	50
Figura 3.3.18 – Frame Wi-Fi	52

Figura 3.3.19 – Frame Control Field	52
Figura 3.3.20 – Frame do HomePNA.....	53
Figura 3.3.21: Comparação ZigBee vs Z-WAVE	58
Figura 3.3.22: Pilha de protocolos IrDA	59
Figura 4.1: Esquema da rede residencial	61
Figura 4.1.1: Exemplo de sistema de controle centralizado	64
Figura 4.1.2: Exemplo de organização de hierarquias, por sistema e por sala.....	65
Figura 4.1.3: Arquitetura de de sistemas de automação residencial.....	66
Figura 4.3.1: Arquitetura exemplo de serviços Control4	68

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.3.1 – Porcentagem da população mundial com acesso à internet.....	14
Tabela 3.3.1: Padrões de comunicação estudados para a casa inteligente	35
Tabela 3.3.2 - Identificação dos comandos X10	37
Tabela 3.3.3 - Frame Ethernet	48
Tabela 3.3.4: Frame ZigBee	57

RESUMO

A automação residencial, ou domótica, é uma área da engenharia que aplica as tecnologias de sensoriamento, controle e comunicação para um ambiente doméstico, visando dar conforto e praticidade aos moradores. O tema tem sido estudado desde os anos 70, e seu interesse começou a crescer na década passada, junto com a popularização dos computadores pessoais. Supõe-se que esses projetos de automação e o uso de controladores residenciais se tornem muito comuns daqui a alguns anos, e se espera que esses sistemas desenvolvam uma grande autonomia para auxiliar os moradores, tornando-se verdadeiras casas inteligentes.

A motivação deste trabalho está no fato que o mercado de automação residencial ainda é considerado pouco desenvolvido, com uma grande diversidade de produtos, que são incompatíveis entre si. Essa falta de padronizações acaba restringindo o consumidor, e tornando difícil a escolha e a aquisição de produtos.

Este trabalho efetua uma definição do conceito de casa inteligente e padrões de comunicação para automação residencial mais comuns utilizados no mercado, além de técnicas alternativas, com o objetivo de compará-los e determinar quais são as soluções que oferecem o melhor custo/benefício. O enfoque é a comparação e análise em nível físico, determinando as aplicações mais adequadas para cada tecnologia.

Palavras-chave: Automação residencial, casa inteligente, domótica

Comparing communication systems for a Smart House

ABSTRACT

Home automation, or domotics, is an engineering branch that uses sensing, control and communication technologies in a home environment, supplying its residents with comfort and services. Despite being studied since the 1970s, its popularity rose only last decade, with the growing popularity of personal computers. It's widely believed that home automation and the use of home controllers will be a trend for buildings in just a few years from now, and that these systems will have enough autonomy to form a smart house.

This work's motivation is based on the fact that this market is not fully developed yet, there is a big amount of different technologies, which are incompatible. This lack of standards is something difficult for the consumer, creating difficulties for him to understand and buy these technologies.

This work is an analysis of the smart house and common domotics communication standards and alternative techniques, in order to weight them and find out which solutions offer the best cost/benefit. The focus is the comparison and analysis at a physical level, pointing out which technologies are better for each application.

Keywords: Home Automation, Smart House, domotics

1. INTRODUÇÃO

Neste capítulo iremos definir os termos de *automação residencial*, *casa do futuro* e *casa inteligente*. Também discutiremos a história e o mercado dessas tecnologias, observando quais as suas oportunidades e limitações comerciais.

1.1. Contextualização

Historicamente, o termo *casa do futuro* foi cunhado em feiras e exposições tecnológicas, para chamar atenção para o lançamento de aparelhos eletrodomésticos, como geladeiras e lavadoras elétricas, indicando que os proprietários dessas novas tecnologias teriam mais praticidade e gastariam muito menos tempo com o cuidado de seu lar (Bolzanni, 2007). Esses produtos surgiram durante a década de 1920, quando grande parte da população tinha acesso à rede elétrica e as tomadas estavam padronizadas (o que facilita novas instalações). A indústria começou a explorar outros usos para a eletricidade, além da iluminação.

Foi nessa época que o rádio também se popularizou, já indicando a importância que a comunicação e o entretenimento viriam a ter.

Pode-se dizer que, nos seus primórdios, a *automação residencial* era essa aplicação de tecnologias para a residência, que diminuía o trabalho humano. Uma lavadora, que antes era manual, agora possuía motores para fazer a lavagem; ferros de passar antigos usavam carvão para se aquecer, enquanto os modelos elétricos não precisam de nada mais do que uma tomada disponível.

Foi durante o pós 2ª Guerra Mundial, com a melhoria da situação econômica e a mudança cultural, que o mercado de eletrodomésticos se expandiu. Itens antes considerados de luxo, se tornaram baratos, enquanto produtos novos, como a televisão, se tornavam necessidades; era a criação do “sonho americano”. A *automação residencial* consolidou-se ali, na forma de aparelhos com controles automáticos ou programáveis, com um maior grau de independência.

Durante os anos 70, a miniaturização da eletrônica e os avanços na área de transmissão de dados, cujo maior exemplar são os rádios de transistor, criaram o paradigma da interconexão, ou seja, como todos os aparelhos que se encontram na casa poderiam agir em conjunto (Driscoll, 2002). Assim, a residência poderia poupar ainda mais o seu dono das atividades domésticas, por exemplo, abrindo as cortinas e ligando o som ou televisão através de controles remotos. Nessa época surgiu termo *casa inteligente*, utilizado pela primeira vez para caracterizar um lar que precisasse de menos manutenção e que “trabalhasse” por si mesmo, auxiliando o morador usando os diversos eletrodomésticos autonomamente; a introdução de uma inteligência para controlar os serviços de automação instalados.

Define-se então uma *casa do futuro*, onde haveria uma inteligência que pudesse controlar os aparelhos e planejar seu uso, utilizando uma interface amigável, que poderia, até mesmo, responder a comandos de voz. Essa seria uma expansão da automação residencial, pois

poderia unir sistemas heterogêneos para cumprir uma série de tarefas. Os primeiros projetos e padrões de comunicação de dados para domótica foram propostos nesta época. Devido aos custos elevados, a domótica era ainda considerada um luxo extravagante. Por muito tempo, o único contato que um cidadão comum teria com essas tecnologias, seria através das feiras de tecnologia, em exposições de empresas de eletrodomésticos.

No entanto, ao longo dos anos, a tecnologia foi ficando cada vez mais barata, e hoje já podemos caracterizar um mercado crescente para a *automação residencial*. Esse mercado tem sido difundido com os sistemas de Home-Theater e de controle de climatização, que surgem como um novo padrão de conforto e lazer. As empresas da área procuraram aumentar seus lucros oferecendo certos serviços de automação, aproveitando o entusiasmo de seus clientes para vender mais. Os negócios começaram a se expandir quando os escritórios e empresas começaram a contratar esses serviços para diminuir seus gastos e aumentar o conforto para seus empregados, na tentativa de aumentar a produtividade.

Hoje, o termo *casa do futuro*, identifica um futuro mais próximo, pois a tecnologia para fazê-la já existe; uma residência que possui uma série de projetos tecnológicos agregados, como por exemplo:

- Sistemas eletrodomésticos, que facilitam o trabalho em casa;
- Sistemas de controle de temperatura;
- Controle de iluminação;
- Sistemas de controle e análise de gastos;
- Aplicações diversas de entretenimento, como Home-Theaters e som ambiente;
- Sistemas de segurança, com câmeras e alarmes;
- Uma arquitetura eficiente, com melhor aproveitamento de espaço e que observa regras de acessibilidade;
- Conexão com a internet amplamente disponível;
- Um centro de controle programável, que auxilia os moradores nas suas tarefas e controla o uso dos diferentes serviços da casa, sendo uma *casa inteligente*.

Algumas construtoras, tentando valorizar seus prédios, já investem em instalações de cabeamentos planejados (cabeamentos estruturados), que, além de terem uma manutenção simplificada e a possibilidade de serem expandidos, facilitem a instalação de sistemas de controle. Elas também já fornecem uma série de projetos de segurança (como instalação de alarmes e câmeras), projetos para aumentar a economia (melhores medidores de luz e água).

Com a domótica, surge a figura do Integrador, o profissional responsável pelo planejamento e instalação de todo o sistema. O que se oferece é um *serviço de automação*, que estuda as necessidades de cada cliente e oferece uma solução. Note que por cliente podemos dizer um indivíduo, empresa ou mesmo uma construtora, e cada um possui necessidades individuais. Apesar de tantos serviços e produtos específicos serem oferecidos, a obscuridade e a falta de grandes marcas que dominem o mercado, combinado com o alto preço das instalações, torna necessário atuar com um grande contato com o cliente, e cada instalação deve ser personalizada (Muratori, 2005(a)). Assim, o profissional da domótica tende a ser um generalista, possuindo conhecimentos de várias tecnologias (Romano, 2009).

A automação residencial, como mercado, ainda é considerada uma área muito nova, pouco desenvolvida e com elevado potencial para crescimento, possuindo diversos padrões diferentes e tecnologias concorrentes, sem grandes exponentes.

1.2. Aplicações

A automação residencial pode ser considerada como um serviço, ao invés de um produto. Ela deve, obrigatoriamente, se ajustar às necessidades do comprador, pois tanto as residências como as necessidades dos clientes são diferentes. Por isso, trata-se de um campo verdadeiramente multi-disciplina (Muratori, 2005(a)). Uma verdadeira casa do futuro exige um projeto arquitetônico, instalação de móveis com atuadores e sensores, um computador central, painéis de acesso em locais corretos, projeto de luminotécnica, instalação de ar-condicionado e um bom sistema de Home-theater (Projeto, 2005). No entanto, o consumidor não possui, e muitas vezes não deseja ter, o conhecimento das instalações necessárias para dar forma as suas vontades quando contrata uma empresa de automação. **(detalhamento da “casa do futuro” na seção 2.1).**

De todos os projetos encomendados, podemos resumir cinco características que atraem pessoas para a domótica: a acessibilidade, o conforto, a redução do consumo, a segurança e a conectividade da casa.

- A acessibilidade visa tornar o ambiente mais inteligente e adequado, para evitar acidentes em casa e proporcionar uma maior qualidade de vida, principalmente para pessoas idosas ou com debilitações físicas (ver Chapman & McCartney (2002) para exemplo de projeto nessa área). Nesse campo extremamente fértil, se estuda como preparar ambientes, como dispor os móveis, onde colocar tomadas, quais os melhores locais para os painéis de controle, qual a melhor maneira de dispôr as informações neles (como em de Salces et al., 2006), como monitorar a saúde do morador, consultas médicas à distância, agendamento automático, etc.
- Conforto é a primeira ideia associada à automação residencial. Além do controle climático, a ideia de automatizar todos os serviços da casa, diminuindo a necessidade de manutenção da casa, é associada à casa do futuro, nas diversas exposições. Mas, isso exige muito mais do que apenas controles remotos ou sistemas de comando por voz, exige a instalação de um sistema de controle integrado na casa e sua conexão com os diversos aparelhos.
- A redução do consumo de energia é vista como uma das formas de se diminuir o custo final do serviço de automação e de se atrair consumidores. Envolve a colocação de luminárias com sensores de presença, controle inteligente das persianas, das janelas, sistemas de controle climático bem distribuídos, sensores de consumo etc. Geralmente, esse é o motivo pelo qual grandes escritórios e construtoras procuram serviços de automação residencial.
- A segurança é um investimento pesado e, infelizmente, necessário para muitas famílias. Integrar a segurança com os sistemas de automação residencial proporciona muito mais do que apenas câmeras e cercas elétricas seriam capazes. Sistemas biométricos podem reconhecer os moradores, e um sistema inteligente poderia identificar visitantes e avisar os moradores ou, até mesmo, chamar a polícia em caso de invasões.

Por último, também não podemos deixar de listar a comunicação interna. Muito além do tradicional sistema de Home-Theater, que fecha as cortinas e ajusta a iluminação, uma *casa inteligente* possui uma rede de dados residencial que deveria ser acessível de qualquer parte. Isso permite o controle através de múltiplas interfaces (como celulares, computadores, painéis de acesso e controles remoto) e disponibiliza todas as informações relevantes da casa. Essa rede também deveria possuir uma banda de comunicação muito alta, para permitir acesso à internet e às diversas mídias de conforto instaladas. Assim, por exemplo, pode-se eliminar a

necessidade de uma central para as câmeras de segurança de um edifício, pois os vídeos podem ser enviados diretamente para o controlador central e serem exibidos em qualquer interface da casa.

Todos esses cinco fatores apresentam um ponto em comum: a necessidade de transferir dados internamente na casa. Como os padrões mais antigos da indústria, como o X-10 (de 1970), foram desenvolvidos há bastante tempo, não possuindo uma grande velocidade de transmissão, eles podem ser inadequados para uma arquitetura de *casa inteligente*, requerendo a instalação de outros fios e equipamentos complementares. Essa necessidade de instalar muitos sistemas diferentes (um para a câmeras, outro para controle, outro para dados) pode acabar aumentando exponencialmente o preço da automação de uma casa.

1.3. Mercado

A automação residencial era vista como uma mera curiosidade, utilizada como propaganda em feiras tecnológicas, cujo mercado se resumia a uma elite com amplos recursos e hobbistas entusiastas, que compravam, configuravam e instalavam módulos baratos em suas casas (esse foi o maior mercado para a tecnologia X-10 [Driscoll, 2002]). O mercado era pequeno e estável, havendo um pequeno número de empresas de arquitetura que forneciam poucos projetos por ano e algumas empresas que produziam os aparelhos.

Durante a década de 90, viu-se um crescimento acentuado de empresas voltadas à domótica. O grande público, com mais acesso à informação e à tecnologia, tem uma forte demanda por mais conforto e segurança, o que criou um mercado maior para a domótica Muratori (2008). Mesmo assim, acredita-se que os compradores em potencial para essas novas tecnologias ainda sejam apenas os mais entusiastas, constituindo apenas 30% do mercado potencial total. Os fatores limitantes para os consumidores ainda é o preço, um tanto alto para aplicações consideradas como conforto, e uma rejeição à essas tecnologias novas, muitos consumidores não veem necessidade em gastar seus recursos nesse tipo de instalação. Para Muratori (2008) (e outros), é apenas uma questão de tempo antes que o resto dos consumidores superem sua rejeição e também comecem a se interessar por tais tecnologias, o que gerará uma “explosão de vendas” nessas primeiras décadas do século XXI.

No final do século XX, vimos uma expansão numa taxa muito rápida das vendas de automação residencial, pois as pessoas, com o contato com a informática, começaram a se conscientizar da existência de mecanismos de automação residencial e puderam comprar esses produtos devido ao barateamento. Os resultados da domótica foram tão positivos durante esses anos, que, em 2006, a agência Frost & Sullivan calculou que o mercado europeu deveria dobrar até 2013, chegando a girar meio bilhão de dólares anuais (meta factível, como podemos ver pela figura 1.3.1) (European, 2007). A agência ABI (*Allied Business Intelligence*), num estudo similar feito em 2008, espera que de 237.000 instalações feitas nos EUA em 2007, tenham-se mais de 4 milhões de instalações em 2013 (ABI, 2007).



Figura 1.3.1 - Projeção do crescimento do mercado europeu de sistemas de casa inteligente em 2004

(Sullivan & Frost, 2004)

Segundo os dados e a projeção feita por Andrew Mcwillians para a Bcc Reserach (Mcwillians, 2009), continua-se a ter excelentes expectativas, mesmo que esse mercado tenha passado os últimos três anos sem um crescimento expressivo (veja a figura 1.3.2). Esses dados não são vistos como um contraponto às previsões anteriores, pois confirmam que houve uma consolidação da área.

Acredita-se que os investimentos de construtoras e escritórios, a abertura de diversas empresas especializadas e a popularização das tecnologias eletrônicas que vimos no decorrer dos anos sejam um indício muito forte de que ainda há muito para crescer nesse mercado.

A Bcc Research acredita que as vendas de sistemas HVAC (controle de temperatura, *Heating, Venting and Air Conditioning*) e de controle de energia irão aumentar por se tornarem comodidades necessárias e muito baratas, principalmente para ambientes profissionais, e que serão essas instalações que levarão os consumidores a investir em outras funcionalidades de domótica (como “extras” para as reformas), ao contrário da visão tradicional de que as novas tecnologias é que estão dando a visibilidade para a automação residencial.

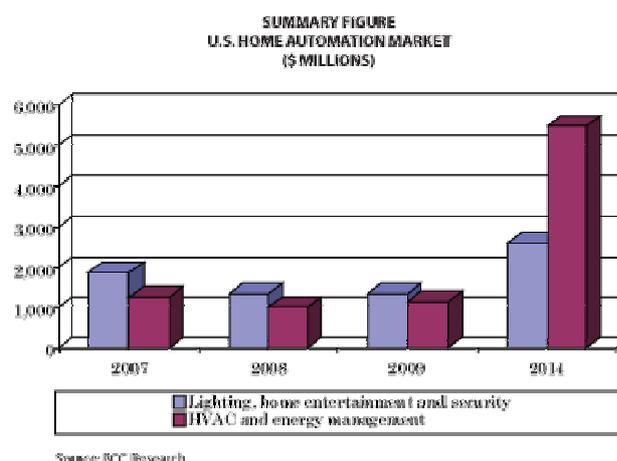


Figura 1.3.2 - Análise e projeção do mercado de Andrew Mcwillians

(Mcwillians, 2009)

Independente de como o consumidor irá entrar em contato com esse mercado, sabemos que ele necessariamente faz parte da parcela da população que se interessa e procura por novas tecnologias. Hoje em dia, o computador não é uma mera “ferramenta de escritório”, mas um meio de comunicação com o mundo e acesso à informação, além de uma estação de entretenimento. O acesso à internet é uma das funções do computador, e a sua expansão demonstra o quanto da população está se tornando público para a doméstica. A Tabela 1.3.1, a seguir, do Internet World Stats, demonstra que esse crescimento é uma tendência mundial:

Tabela 1.3.1 – Porcentagem da população mundial com acesso à internet

Regiões do Mundo	População (Est. 2009)	Usuários de Internet 31, Dez. 2000	Penetração (% População)	Crescimento 2000-2009	% Usuários da Tabela
Africa	991,002,342	4,514,400	8.7 %	1,809.8 %	4.8 %
Asia	3,808,070,503	114,304,000	20.1 %	568.8 %	42.4 %
Europa	803,850,858	105,096,093	53.0 %	305.1 %	23.6 %
Oriente Médio	202,687,005	3,284,800	28.8 %	1,675.1 %	3.2 %
América do Norte	340,831,831	108,096,800	76.2 %	140.1 %	14.4 %
América Latina/Caribe	586,662,468	18,068,919	31.9 %	934.5 %	10.4 %
Oceania / Austrália	34,700,201	7,620,480	60.8 %	177.0 %	1.2 %
Total Mundial	6,767,805,208	360,985,492	26.6 %	399.3 %	100.0 %

(Internet world stats, 2009)

Vamos nos focar no mercado brasileiro. O gráfico da Agência para a Sociedade do Conhecimento contém tanto a penetração da internet na população, quanto a utilização da banda larga. O aumento do acesso à banda larga reflete no aumento da parcela da população que acessa a internet no seu dia-a-dia, sendo a parcela da população “tecnologicamente ativa”. Vemos um gráfico quase linear desde o ano de 2000, que atinge metade da população (e a quase totalidade dos acessos é feita através de conexões mais rápidas), o que evidencia o consumidor brasileiro como interessado em novas tecnologias (Figura 1.3.3):

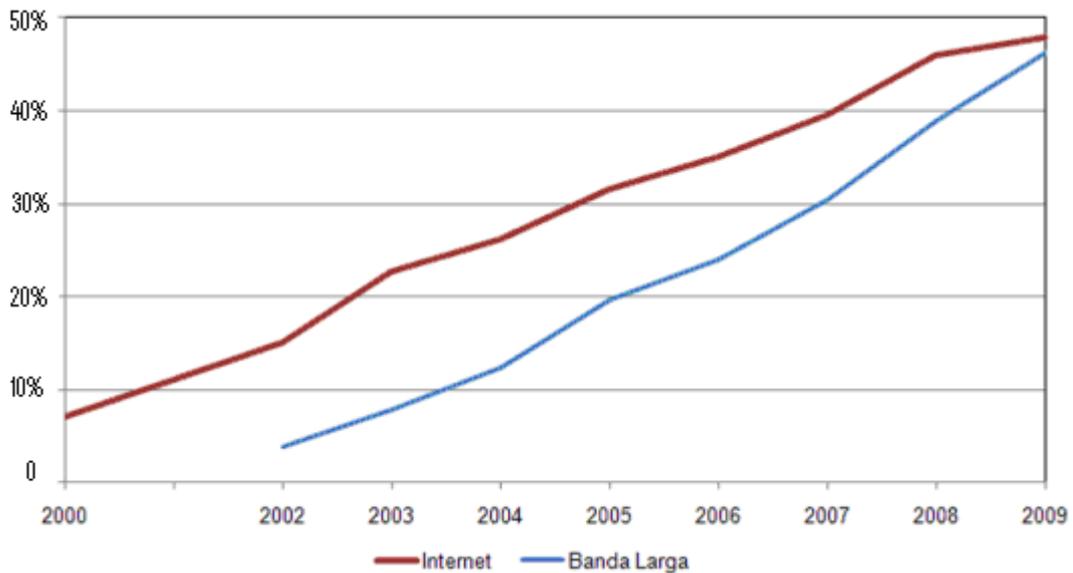


Figura 1.3.3 - Crescimento do acesso à banda larga no Brasil
(Umic, 2009)

Segundo os dados de Muratori (2008), o Brasil apresentava, naquele ano, um mercado em potencial de automação de 1,1 milhões de casas, totalizando um capital de mais de um bilhão de reais (a parcela da população com casa própria, com renda suficiente e acesso à internet). Espera-se que esse mercado em potencial aumente ainda mais, tendo em vista o crescimento enorme do mercado de construção civil no país, impulsionado tanto pelo desenvolvimento econômico e urbanização dessa última década, e que mantém a tendência de continuar a aumentar, tanto pelos incentivos dados pelo governo quanto pela expectativa diante da Copa do Mundo de 2014 (Construção, 2010). Isso torna o país um consumidor muito expressivo para domótica, pois além de ter um público ciente das novidades tecnológicas, também possui um produtivo mercado imobiliário. Alguns números que sustentam essas expectativas já podem ser vistos em (Boechat & Mapes, 2010), que indicou um crescimento nas vendas de imóveis em São Paulo de 85% entre o primeiro trimestre de 2009 e 2010.

A AURESIDE [1], associação brasileira de automação residencial, fundada em 2000, para formalizar a nova profissão de “integrador de sistemas residenciais” e tem organizado diversos cursos, palestras e treinamentos para engenheiros interessados. Mesmo assim, ainda são poucos os projetos de automação que são vendidos anualmente, na casa das dezenas. A AURESIDE estimou um crescimento na área de 20% anuais entre 2005 e 2008.

Já existem pesquisas sobre fatores e influência nas vendas de aparelhos de domótica que caracterizam mais o consumidor brasileiro e indicam quais as suas necessidades. Na pesquisa feita por Teruel & Novelli (2007a), orientada ao mercado paulista, vemos que a maior preocupação para a compra desses serviços, está relacionada à segurança (veja o resultado na figura 1.3.4). Notamos que o consumidor brasileiro está preocupado com o preço e redução do consumo, enquanto o fator menos importante é a necessidade de conhecimento técnico (novamente, espera-se que o Integrador ofereça para o cliente e lhe mostre as possibilidades de investimentos). Isso e demonstra que a *automação residencial* ainda é o foco, e não ainda a criação de uma *casa inteligente*. Por essas características, o mercado brasileiro parece se estender para além da parcela tecnófila ou hobbista, indicando uma grande popularização.

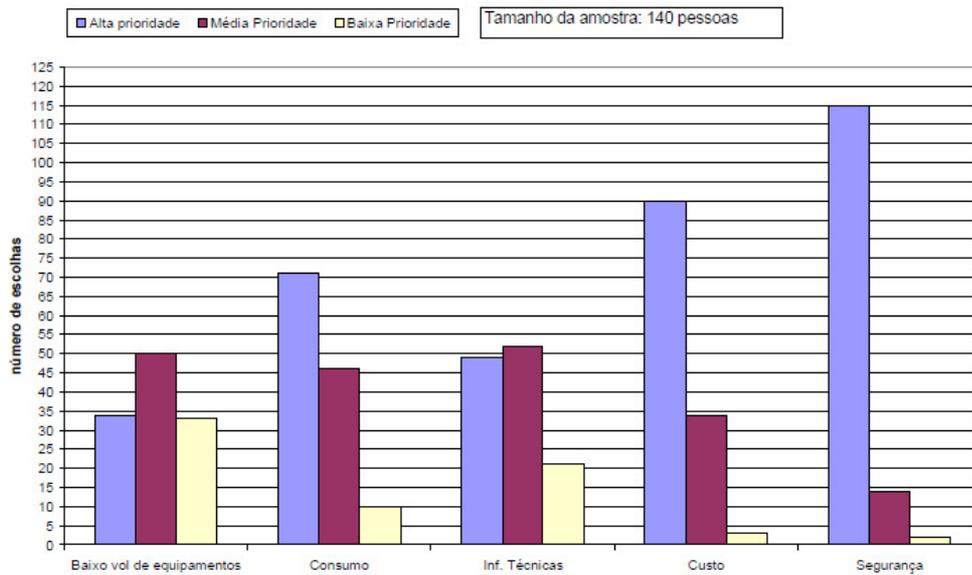
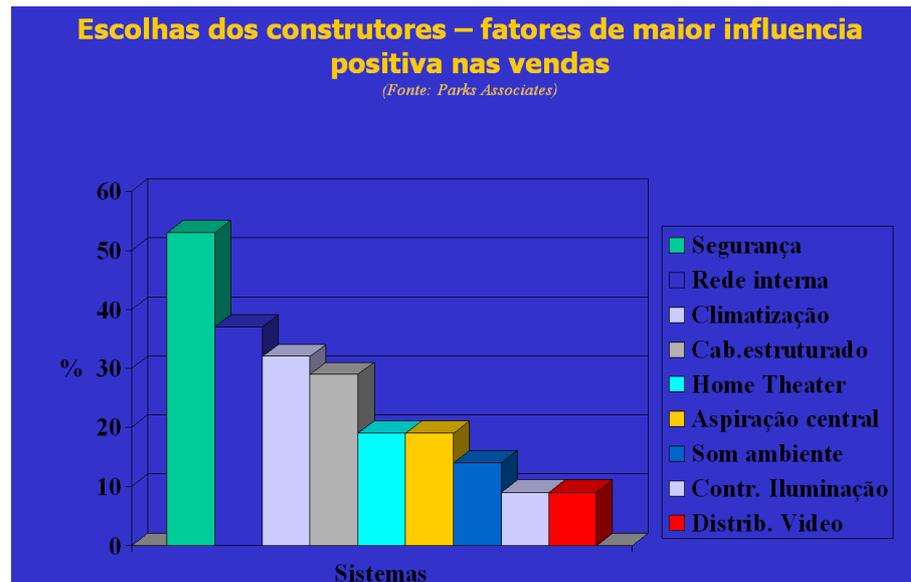


Gráfico 3: Escolha das variáveis importantes para soluções de automação residencial

**Figura 1.3.4 - Fatores importantes para o cliente de automação residencial
(Teruel & Novellil, 2007a)**

Encontram-se, também, dois outros clientes para a domótica: escritórios de empresas e grandes construtoras. São muitas as empresas que desejam diminuir seus custos e aumentar o conforto de seus funcionários, e esse mercado tem sido dominado pelas empresas de instalação de ar-condicionado e de arquitetura e desenho de interiores, e as soluções que a domótica pode oferecer caem entre os produtos já existentes. Mesmo assim, os escritórios são consumidores, pois ainda há uma necessidade de atualização dos equipamentos comprados, e um espaço para inovações.

O valor de um imóvel depende de outros fatores além do terreno. Muitas construtoras que desejam valorizar seus imóveis já os vendem com soluções integradas: Sistemas de ar-condicionado central, aquecimento de pisos e cortinas automáticas são comuns em alguns edifícios de luxo. Muratori (2008) disponibilizou uma pesquisa sobre os fatores que tem influenciado as vendas das construtoras (Figura 1.3.5).



**Figura 1.3.5 - Fatores de maior influência para construtoras
(Muratori, 2008)**

O cabeamento estruturado e uma rede interna disponível, que tem sido as maiores influências nas vendas das construtoras, torna a instalação de redes internas e de sistemas de automação muito mais simplificada e barata. De certo modo, todas as aplicações de automação residencial contam nessa pesquisa, sistemas de climatização, Home-Theaters, aspiração central, som ambiente, controle de iluminação e algumas aplicações de segurança são do campo da domótica. Percebe-se que o mercado não está sendo consolidado apenas pela difusão tecnológica, mas também pelos esforços das construtoras em aumentar seu lucro.

Mesmo diante de tantas projeções otimistas, ainda existem análises negativas desse mercado. Muitos acham que esse crescimento explosivo será atenuado e o número de clientes não crescerá como é esperado por essas empresas, mas se manterá estável. Esses críticos acreditam que sem um “carro-chefe”, que crie uma necessidade pela tecnologia, não haverá um apelo tão grande quanto se espera (Richard, 2009), e o crescimento atual do mercado estará limitado aos compradores entusiastas.

De qualquer maneira, a domótica está criando um grande mercado consumidor, que já apresentou um crescimento expressivo. Agora, se haverá a disseminação ou não dessas tecnologias ao ponto em que a domótica se torne algo tão comum quanto o controle remoto de uma TV, apenas o tempo nos dirá.

1.4. Objetivos do Trabalho

O objetivo desse trabalho é efetuar uma análise da casa inteligente sob os seguintes aspectos: a) aspectos econômicos; b) aspectos de aplicação; c) aspectos tecnológicos de comunicação. A ênfase será nesse último aspecto, para o qual serão efetuadas comparações, buscando apresentar os aspectos positivos e negativos de cada padrão afim de determinar qual o seu melhor uso.

Para alcançar esse objetivo, foi efetuado um estudo de mercado (seção 1.3), um estudo de aspectos do estado da arte nas aplicações da automação residencial (capítulo 2), e um estudo dos aspectos tecnológicos de comunicação na área (capítulo 3). Com base em tais estudos, efetuou-se uma comparação para algumas métricas (capítulo 4), para se fazer uma tabela comparativa nas conclusões (no capítulo 5).

1.5. Motivações

Há um mercado pouco explorado e que está se consolidando em um ritmo acelerado, como podemos ver pela grande quantidade de condomínios de luxo em construção. A maior motivação é que este, provavelmente, é um dos melhores momentos para se abrir uma empresa nesta área. Como existem muitos fornecedores concorrentes, e não há um padrão único na indústria, requer-se um estudo de quais tecnologias são mais eficientes.

Também há uma grande tendência de se buscar a interoperabilidade entre diversos sistemas de comunicação, como é o exemplo de pesquisas como o Universal Control Hub for Universal Remote Consoles (UCH-URC) da Meticube [2] ou o HES (Home Electronic System) proposto pela ISO. Esse produto é uma plataforma de software que tenta integrar qualquer interface de usuário com qualquer aparelho do ambiente, e pode ser uma área de pesquisas futuras. A experiência de trabalhar com diversos padrões e de se medir o seu desempenho é útil para esse tipo de pesquisas.

2. ANÁLISE DO ESTADO DA ARTE

Neste capítulo iremos detalhar o objeto de estudo deste trabalho: as casas inteligentes. Serão analisadas quais as principais tecnologias instaladas nos projetos de automação residencial e quais as áreas de pesquisas que tem maior impacto.

2.1. A Casa do Futuro

Pode-se ver uma evolução contínua dos sistemas de automação residencial desde que começaram a ser comercializados (Driscoll, 2002). Tradicionalmente, eles tem se resumido à instalação de controles para HVAC, luz e cortinas; instalação de um cabeamento estruturado; sensores de presença, alarmes e câmeras de segurança. Geralmente, o foco dessas instalações é a automação residencial, com a instalação de controles adequados para essas facilidades. Esses sistemas possuem um mercado consolidado (sendo controle de climático menos comum no Brasil), mas não é incomum vermos alguns projetos de inovações, como controle programado eletrodomésticos ou via internet.

Para as primeiras instalações de automação residencial, um grande foco sempre foi conseguir uma interface acessível, pois a inteligência do sistema era o usuário. Inicialmente, o controle remoto para televisão entrou no mercado como a epítome do conforto, pois o telespectador não precisaria mais se levantar para mudar de canal. A Figura 2.1.1 demonstra a primeira versão comercial do controle remoto, com fio ligando-o à televisão. O conceito foi levado para outros aparelhos, principalmente na área de iluminação, com *clappers* (acionadores de luz pelo bater de palmas), sensores de presença e *timers* (usado como o primeiro sistema de controle para aparelhos como lavadoras automáticas, fornos, etc.).

Diminuir o número de botões e tornar o controle mais prático (além de dotá-lo de alguma inteligência) se tornou o ponto mais importante para atrair novos consumidores. Apesar de ser possível termos um alto grau de controle sobre os serviços da casa espalhando-se chaves temporizadas nas tomadas, para que cada aparelho seja ligado de acordo com uma agenda, a pouca praticidade desse sistema o torna impraticável. As primeiras casas realmente automáticas possuíam painéis nas paredes, terminais por onde a iluminação e os aparelhos poderiam ser ativados e uma série de informações era disponibilizada. Depois, vieram os controles remotos, algumas vezes convivendo junto com os painéis. Algumas experiências com sistemas ativados por voz já foram feitas, mas sem grandes sucessos, pelo custo alto e confiabilidade limitada.

Precisamos, porém, atentar ao fato de que as redes elétricas não tem características muito adequadas para conduzir os sinais (uma análise pode ser vista em Vargas (2004) e Pavlidou et al (2003)). Elas atenuam muito os sinais que a atravessam, o que reduz o seu alcance físico. Normalmente, uma casa pode possuir até três fases diferentes, que não conduzem bem os dados entre si, e talvez precisem ser interligadas com pontes de sinais (o que poder requerer obras). Os eletrodomésticos ligados na rede também geram muito ruído, e também podem acabar funcionando como atenuadores de sinal. As redes elétricas também nem sempre possuem um cabeamento uniforme mesmo entre a mesma fase, o que pode exigir mais algumas obras. Também é necessário isolar os sinais da rede, não pode haver “vazamento” de dados para fora da residência, ou a recepção de comandos que venham de fora. Sistemas de rádio enfrentam menos problemas de interferências, mas são expostos e podem ter um alcance limitado, precisando de vários retransmissores ou uma fonte de alta potência.

Um edifício não possui apenas cabos de energia instalados nele. Instalações de rádio e cabos coaxiais de transmissão de TV à cabo são muito mais eficientes para transmissão de dados e podem ser utilizados para acesso à internet e comunicação dos aparelhos simultaneamente, utilizando controladores baseados em IP. Uma outra opção é instalar um cabeamento específico de rede, como o Cat-5, que acaba ficando barato diante do preço das instalações e dos aparelhos para a automação. Diante de tantos problemas, novas instalações podem acabar tendo um custo/benefício melhor.

A seguir, segue uma lista das principais tecnologias apresentadas para a automação residencial, divididas por aplicações, além de projeções futuras baseadas em estudos na área.

2.1.1. Interatividade

A casa inteligente, sendo uma comodidade, requer um controle fácil e prático. Primeiramente, usaram-se fios para se controlar os aparelhos a longa distância, depois o infravermelho foi utilizado para se eliminar os fios. As tecnologias sem fio de conexão interdispositivos se mostraram outra tendência, pois também eliminam a necessidade de se apontar um controle para o dispositivo. Hoje, as empresas de domótica oferecem controles remotos unificados, para múltiplos aparelhos, e com uma interface gráfica, o que é muito prático para o usuário, que não precisará mais guardar diferentes controles. Controle de voz tem sido estudados há muito tempo, mas ainda encontram pouca aplicação prática, devido à dificuldade de implementá-los. Normalmente, interfaces gráficas (como as da Control4, indicados na Figura 2.1.2) já são práticos o suficiente para o usuário, acessíveis tanto por controles quanto por painéis instalados.



Figura 2.1.2: Controle remoto Control 4 e opção para celular (Control4)

Os sistemas de controle mais modernos permitem o usuário controlar seu lar através de aparelhos pessoais, como seu celular, e de programá-lo à distância, usando protocolos de internet. Assim, poderia-se “avisar a casa” a que horas o morador irá chegar, dando a

possibilidade de programar como ele irá querer encontrar sua casa (quais luzes estarão acesas, se o banho estará preparado, se deixará um café pronto, etc.).

O mercado brasileiro está ciente de todas essas opções, e tem preferência por controles mais flexíveis o possível, como é demonstrado pela pesquisa de Teruel & Novelli (2007a), na Figura 2.1.3:

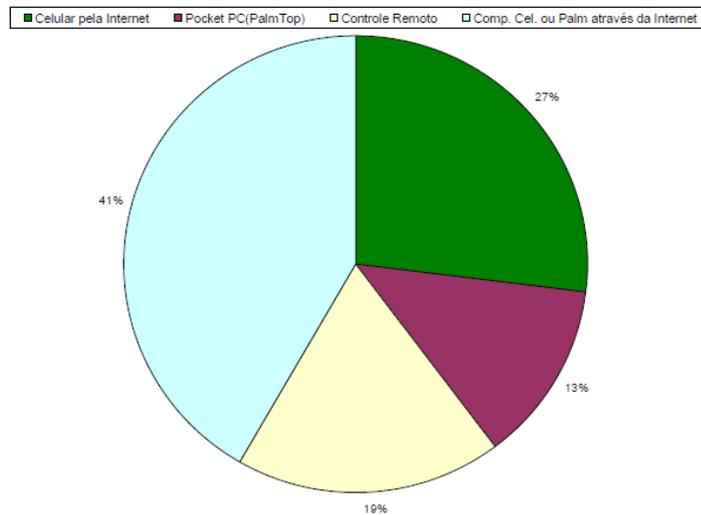


Gráfico 2: Escolha da interface de controle dos dispositivos

Figura 2.1.3: Preferência por estilos de controle (Teruel & Novelli, 2007a)

Além de sistemas de controle à distância, a *casa inteligente* será capaz de identificar os seus moradores, criando perfis para eles. Cada um desses perfis permitirá à casa se adaptar as preferências do usuário. Assim, a casa não irá apenas diminuir o trabalho e a manutenção necessária, mas poderá oferecer-lhes um novo padrão de conforto, adaptando a luminosidade às preferências de cada um, gravando certos programas de televisão, preparando banhos em determinadas horas, enfim, oferecendo serviços personalizados. Ela também poderá auxiliar seus moradores com suas rotinas e tarefas, ajudando-os a acordar (controlando a luminosidade e disparando alarmes nos cômodos) e guardando agendas e “lembretes” para eles, avisando-os de tomar remédios, de reuniões, de que há mensagens na secretária eletrônica, programando rotinas, exercícios, etc. Também é possível usar os perfis para se criar ambientes para cada morador, atuando nas necessidades individuais. Esse sistema de perfis pode ter aplicações para a telemedicina, guardando informações sobre o paciente que podem ser necessárias em caso de acidentes ou fazendo ligações de emergência. Existem, também, estudos para que, no futuro, a casa seja capaz aprender e se adaptar às rotinas de seus moradores de uma maneira autônoma (Sgarbi & Toniandel; Begg & Hassan (2006); uma descrição completa desses projetos pode ser vista em Cook, Augusto & Jakkula (2008)).

Talvez mais próximo da nossa realidade, e intimamente ligado à domótica, está a explosão das tecnologias de interface de reconhecimento de movimento e padrões, junto com a super-imposição de imagens virtuais sobre reais. Essas tecnologias estão se tornando comuns em celulares (sistemas de realidade aumentada), videogames e salas de aula (com lousas virtuais). Possivelmente, a *casa do futuro* usará câmeras como uma forma de localizar e identificar seus usuários, e o controle poderá ser feito inteiramente com gestos, como os antigos *clappers*.

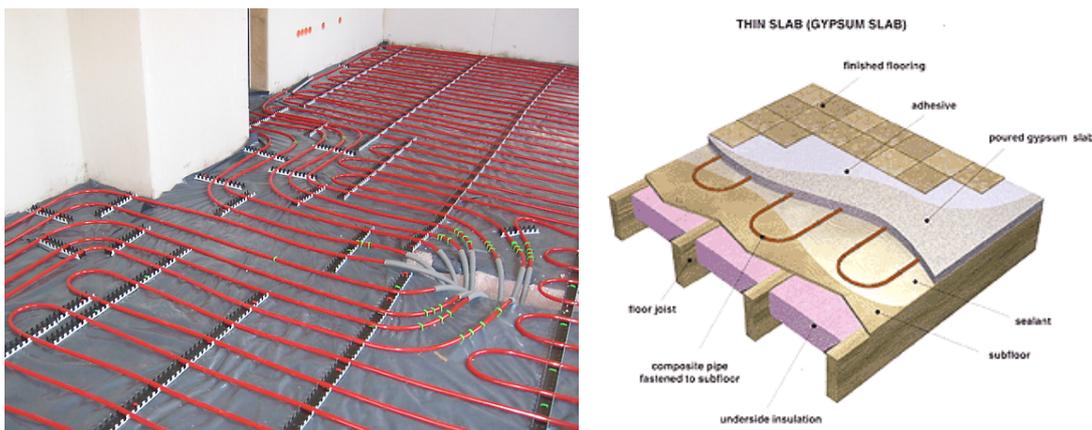
2.1.2. Serviços

Uma infinidade de serviços diferentes são oferecidos pelas empresas, mesmo por aquelas que não são específicas de automação residencial. Talvez os sistemas mais comuns sejam a irrigação de jardins e controle de climatização.

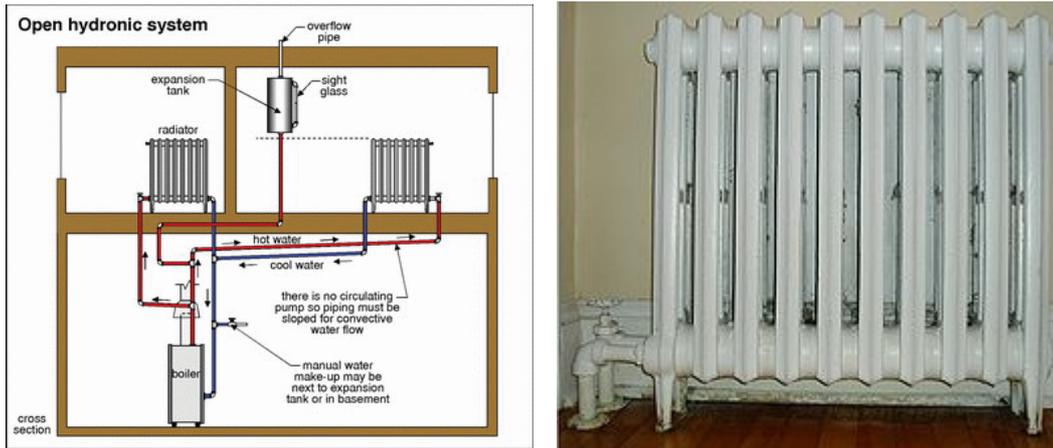
É muito caro manter um jardim bem cuidado, e a instalação de um sistema de irrigação pode diminuir bastante o número de horas gastas para tratá-lo. Numa casa inteligente, o controle da irrigação é feito através do sensoramento da umidade do solo, sensores de chuva ou mini-estações meteorológicas, para gerar mais economia e evitar encharcar o jardim. Bombas também podem ser instaladas nas calhas e ralos para evitar o entupimento com o acúmulo de folhas mortas.

O controle de climatização normalmente é feito com o uso de aparelhos de ar condicionado, que, com o uso de termostatos, fornecem um controle mais preciso de temperatura do que ventiladores e aquecedores. Os aparelhos modelo Split, com um termostato bem preciso, capaz de controlar a temperatura na casa de um grau Celsius, estão se popularizando. A instalação de isolamento térmico nas paredes (camadas isolantes) e nas janelas (janela dupla) pode auxiliar muito com a economia de energia, complementando o sistema de climatização.

O aquecimento de piso é um complemento ao sistema de ar condicionado, que normalmente funciona em ciclo-reverso para aquecer, direcionando o ar frio para fora do apartamento e o ar quente para dentro, tendo uma eficiência muito baixa (cerca de 35%, segundo a Hotfloor). A calefação de piso desenhada para aquecer os ambientes de uma forma muito mais eficiente, aquecendo o chão e usando a convecção para espalhar o calor pela sala. Isso é feito através da instalação de cabos elétricos isolados sob o piso, de forma que cada aposento possa ser independentemente aquecido (veja esquema da Figura 2.1.4). Pode-se dizer que esse tipo de aquecimento elétrico é uma evolução dos antigos radiadores de água quente, que usavam uma caldeira para aquecer um circuito fechado de água e transportar o calor para os cômodos. Esse sistema mais antigo tem um rendimento menor por perder muito calor nas caldeiras e nos canos, além de precisarem de suas instalações serem visíveis, como pode-se ver comparando-se as Figuras 2.1.4 e 2.1.5.



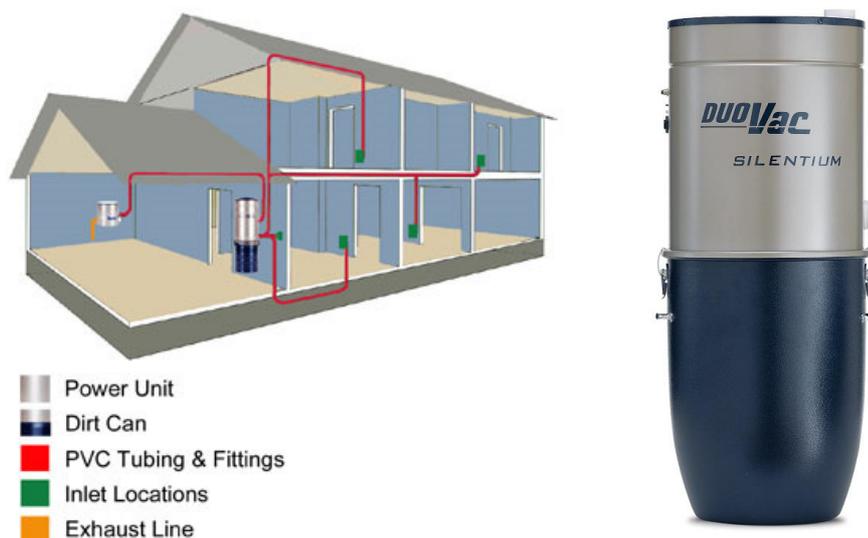
**Figura 2.1.4: Instalações de piso aquecido
(Hotfloor)**



**Figura 2.1.5: Instalações de calefação hidráulica
(House)**

Exaustores também podem ser instalados para manter a qualidade do ar. Geralmente usados em indústrias, eles podem ser controlados de acordo com a concentração de elementos poluentes no ambiente.

Os sistemas de aspiração central se consistem em uma série de encanamentos de PVC ligados a um motor de sucção instalado em algum lugar da casa. A limpeza é feita através de pontos de sucção espalhados pela casa onde uma mangueira pode ser conectada ou onde há uma pequena entrada para varrer o lixo. A Figura 2.1.6 indica um projeto de distribuição das tomadas de sucção e demonstra um dos aparelhos DuoVac. Segundo a EuroEme, empresa de instalação de sistemas de aspiração central, esses sistemas são silenciosos (com um som em funcionamento na taxa de 60 db) e guardam até 40 litros de sujeira antes de precisar trocar o recipiente de sujeira (em média 5 vezes mais do que os modelos portáteis). A potência consumida por esses sistemas é, normalmente, apenas o triplo de um aspirador de pó comum, eles são mais eficientes por possuírem compressores maiores. Esses sistemas são muito mais caros do que o aspirador portátil, pois também exigem obras de instalação, mas resultam em uma grande valorização do imóvel.



**Figura 2.1.6: Esquema de instalação de aspiração central e aspirador
(Lindsay Manufacturing)**

Alguns serviços também são oferecidos especificamente para o banheiro, principalmente o controle da temperatura do banho. Para casas com banheiras, pode haver um ciclo de preparo para o banho, que avisa o usuário quando sua banheira está cheia e aquecida. Outros sistemas incluem descargas automáticas, saboneteiras elétricas, pias de acionamento com sensores e cabides aquecidos para toalhas.

As luzes da casa podem ser controladas com sensores de presença, para que o sistema de controle supervisione a posição dos moradores e ligue ou desligue as lâmpadas, o que evita o desperdício de energia. Além disso, podem ser feitos trabalhos de luminotécnica, ou o estudo do posicionamento e do tipo de lâmpadas que serão instalados na casa. Usando-se lâmpadas coloridas ou com *dimmers* (aparelhos que controlam a luminosidade da lâmpada alimentando-a através de pulsos), a intensidade de cada luz pode ser controlada. Isso é usado não apenas para se fornecer uma iluminação adequada, mas também para se criar diferentes ambientes na casa (específicos para ver televisão, jantar, ter reuniões, festas, etc.), em conjunto com música, o controle das persianas e o emprego de quadros digitais (molduras com telas de LCD que exibem imagens gravadas). No Brasil, a empresa Z-Wave faz projetos de luminotécnica, usados como exemplo na Figura 2.1.7.

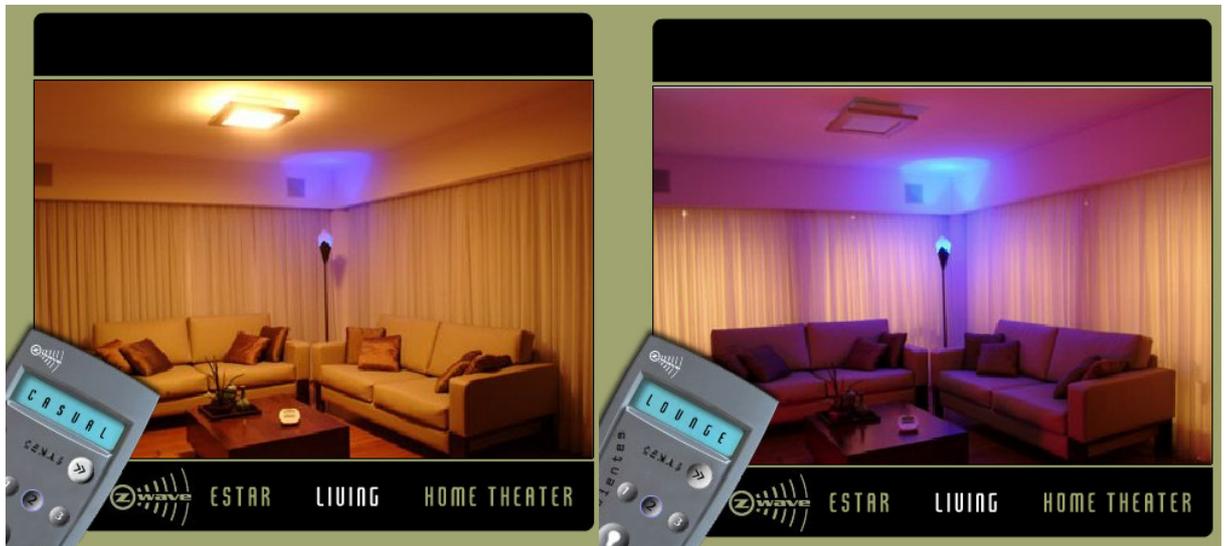


Figura 2.1.7: Exemplo de ambientação luminotécnica

(Z-wave (a))

Muitos outros aparelhos podem ser ligados na rede de controle como serviços. Geralmente, aparelhos de operação simples, como cafeteiras e fornos elétricos, são controlados com uma chave de alimentação, que controla a tomada, ligando ou desligando o aparelho. Lavadoras de louça e de roupa, secadoras automáticas, alimentadores de animais, todos podem ser ligados no sistema, apesar dessa conexão ser particularmente problemática. Se o aparelho não possuir uma interface direta com a tecnologia de comunicação instalada na casa, estaremos limitados a trabalhar apenas com essas chaves de alimentação, o que impede a configuração da máquina de uma maneira remota (visto que a adaptação de cada aparelho para se comunicar com o padrão instalado na casa pode ser uma tarefa muito longa e cara). Sistemas de alarme, independentes ou usando o sistema de som central, são uma ótima adição ao controle, pois além do despertador sonoro, a casa pode ligar as luzes do quarto ou abrir a cortina para que seja mais fácil sair da cama.

A instalação dessas tomadas inteligentes pode dar uma grande segurança para os moradores, pois elas são capazes de desligar automaticamente os aparelhos elétricos inadvertidamente deixados ligados.

A instalação de sensores na residência podem colaborar com a complexidade das tarefas que o controlador é capaz de realizar. Um sistema de perfis poderia registrar que um dos moradores costuma acordar de noite para ir ao banheiro, e iluminar fracamente o seu caminho até lá. Esse sistema pode cuidar da saúde do usuário, através de balanças e programas de exercício. Também podem localizar o usuário dentro da casa, sem precisar de um transponder.

Sistemas mais complexos podem ser desenhados com a simples instalação de atuadores na casa. Pode-se colocar atuadores para controlar as cortinas, alçapões, janelas e venezianas. O controlador central pode ser programado para abrir ou fechar as cortinas de acordo com o horário, auxiliando nas horas de despertar. Com a instalação de sensores de chuva, as janelas podem se fechar automaticamente, eliminando a constante preocupação de se deixá-las abertas. Não só as janelas podem ser controladas com motores atuadores, mas também portas de dispensas, cobertura de piscinas, etc. Isso pode ser essencial para se ter uma casa com maior acessibilidade, pois poderia evitar que os moradores tropecem ou esbarrem em portas deixadas abertas.

A maioria dos clientes de empresas de automação residencial entraram em contato com essas tecnologias procurando mais opções de lazer. Sistemas de som central e Home-Theaters e som ambiente, são considerados a epítome do lazer numa residência (ilustrado na figura 2.1.8). A capacidade de preparar ambientes ao toque de um botão, como ligar o Home-Theater, diminuir a luminosidade da sala e fechar as cortinas é um dos carros-chefe das empresas de automação, que é propagandeado como *Lazer sem Trabalho*.

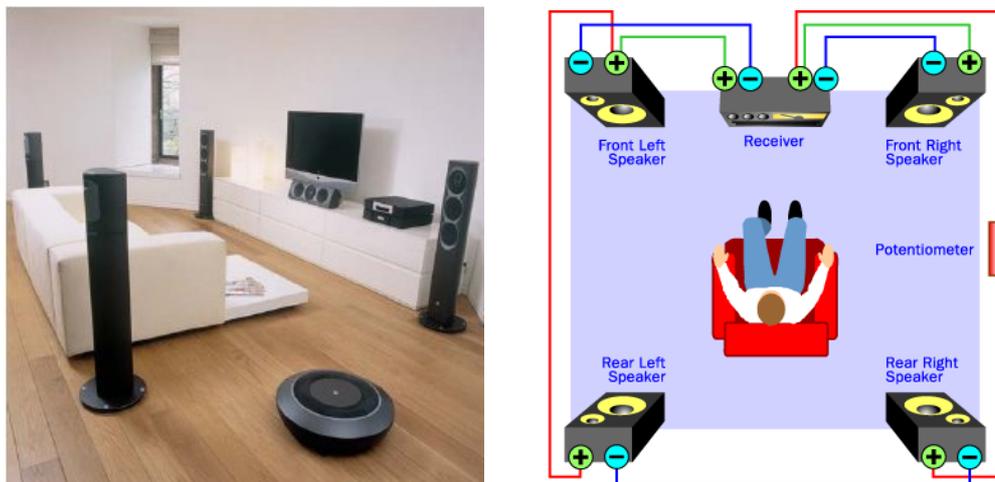


Figura 2.1.8: Sistema de Home Theater e esquema de posicionamento de caixas de som.

(Harris)

Um dos maiores paradigmas da *casa inteligente* é a cooperação de sistemas heterogêneos, ou seja, como colocar uma inteligência para controlar sistemas que não possuem uma ligação ou dependência direta. A cozinha é bastante citada como um desses sistemas, normalmente equipada com computadores para acesso a receitas e sensores para controlar precisamente a temperatura do fogo, evitar incêndios e comidas queimadas; mas sonha-se em usar alguma forma de reconhecimento de produtos da geladeira para procurar receitas automaticamente, fazendo o cozimento sem supervisão, algo muito complexo.

Prevê-se, com o barateamento da tecnologia, a popularização de *robôs domésticos*, e o seu emprego de uma forma mais massiva. Apesar de já possuírem uma indústria própria, esses robôs ainda são uma mera curiosidade, principalmente no Brasil, onde seus preços são exorbitantes. Hoje temos robôs autônomos, que se locomovem pela casa e fazem limpeza, varrendo o chão e aspirando poeira (como o Roomba da iRobot, e o Trilobite da Electrolux); ou

cortando grama (RoboMower da Friendly Robotics), ilustrados na Figura 2.1.9. Também já são vendidos alguns robôs de entretenimento (como o Aibo da Sony).



**Figura 2.1.9: Roomba e Robo Mower RL 850
(Irobot; Robomow)**

Num futuro próximo, poderemos ver essa interconexão expandida para os móveis, a criação de *móveis inteligentes*, similares aos vistos em Romero (2010). Se houver essa popularização, poderemos ter verdadeiras hordas de robôs em casa, para limpar e organizar os móveis, e como “mordomos”, nos servindo. Podemos vislumbrar esses sistemas com o Kiva Systems [3], um sistema logístico de controle de uma horda de robôs para organizar uma central de distribuição. Esse sistema é utilizado para gerenciar centros de distribuição, e já pode ser visto em armazéns da Stapple e da Walgreen. Provavelmente, veremos na “casa do futuro”, móveis inteligentes coordenados de um modo similar, que se organizam e auxiliarem os moradores.

Também já podemos ter um vislumbre dos sistemas de “mordomos robôs” (figura 2.1.10). Ainda estamos longe do tradicional “homem metálico” de Isaac Asimov, mas a Coreia já emprega “robôs enfermeiros” para cuidar de idosos (providenciando apoio, checando seus sinais vitais e tendo uma conexão instantânea com telefones), como podem ser vistos no trabalho de Park et al. O governo coreano tem como uma meta, em seu plano de convergência tecnológica de 2010-2025 (Goertzel, 2010), o projeto de inserir um robô em cada lar. Modelos de robôs garçom e apresentadores já são utilizados em convenções tecnológicas, enquanto o ASIMO e o Mahru-Z demonstram o desenvolvimento de robôs humanoides, nos mostrando que esses sistemas não são mais utopia.



**Figura 2.1.10: Robô enfermeira e de serviço
(Park et al.; Eloquence, 2005)**

2.1.3. Economia

Para que qualquer produto ou serviço seja oferecido para o mercado, ele tem que ser economicamente viável. Surge, numa área que é considerada um luxo, a questão de qual os benefícios econômicos da Domótica, ou mesmo da *casa inteligente*. Apesar de esse ser um investimento pesado, sua instalação proporciona um controle muito mais preciso sobre os gastos da residência.

Normalmente, luzes controladas por sensores de presença são pontos importantes para a economia. Casas inteligentes, com seus projetos de luminotécnica, tem um melhor aproveitamento da luz ambiente, e são normalmente mais econômicas, por usarem *dimmers*, lâmpadas fluorescentes ou de LEDs.

Hidrômetros e relógios elétricos podem ser conectados ao sistema de controle da casa, permitindo gerar gráficos e medir quais os maiores impactos na conta elétrica de cada mês, permitindo um planejamento dos gastos, detectando vazamentos em encanamentos e defeitos na rede elétrica.

Aplicação de sensores na casa permite aplicar um grande nível de planejamento no gasto de energia. Pode-se desligar o sistema de irrigação quando chove, usar um aquecedor solar para a água cuja temperatura é ajustada por resistências, etc. Uma tendência para casas inteligentes é a arquitetura *Eco-Friendly*, uma arquitetura planejada, que tenta diminuir a necessidade de instalações elétricas. Um bom projeto de circulação de ar pode diminuir ou eliminar completamente a necessidade de sistemas de ar-condicionado. Aproveitando-se da energia solar para aquecer o ar, ou usando condutores de ar subterrâneos para diminuir a temperatura, o controlador da casa pode conseguir manter a temperatura estável, desde que a casa seja isolada termicamente. Empresas como a Passivent são especializadas nesses projetos de *ventilação natural* (exemplo na Figura 2.1.11).

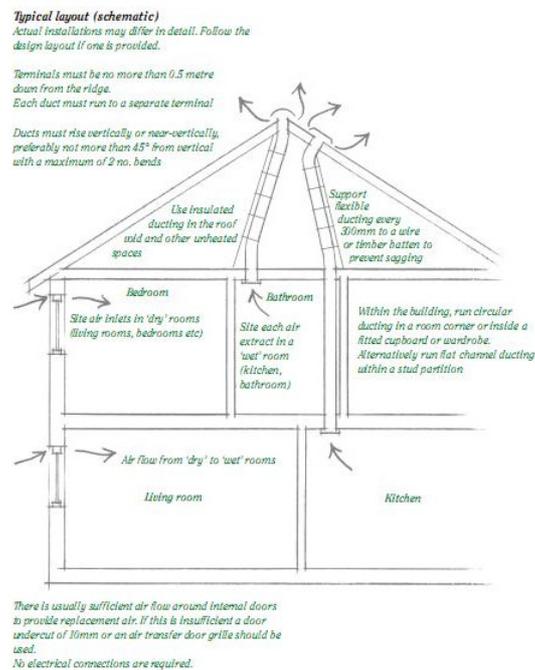


Figura 2.1.11: Sistema de resfriamento natural, permite o fluxo de ar natural de acordo com a temperatura

(Passivent, 2007)

Energias alternativas, como painéis solares e cataventos, são ferramenta eficientes para cortar os gastos. Apesar de não ser possível substituir completamente a energia elétrica ou de outras fontes (como caldeiras) com ela, pode-se usá-las para aquecer água, ou diminuir a conta de luz, injetando energia elétrica na rede. Desde 2009, o governo dos Estados Unidos tem investido na modernização de sua rede elétrica, por motivos econômicos e ecológicos, transformando-a numa *Smart Grid*. Essa rede seria capaz de se adaptar a essas pequenas produções locais, medindo qual a potência que cada residência é capaz de fornecer e se adaptando.

Os eletrodomésticos do futuro poderão ser mais complexos, possuindo interfaces de rede. Assim eles serão mais úteis para a casa inteligente, proporcionando uma série de dados, como falhas, consumo e informações relevantes de seu funcionamento, como o estoque de comida da geladeira, a temperatura de fogo do fogão, etc. Antes que isso aconteça, é necessário que a indústria se conforme ao redor de padrões comuns para o desenvolvimento de eletrodomésticos inteligentes.

2.1.4. Segurança

Normalmente, os sistemas de segurança incluem sensores de presença infravermelhos, sensores magnéticos que detectam a abertura de portas e sensores de quebra de vidros. Um painel de controle faz a ativação dos sistemas mediante a uma senha. Em caso de arrombamento, alarmes sonoros são ativados e, em alguns casos, a polícia pode ser acionada. Algumas casas possuem também botões de pânico, que iniciam o sistema de alarmes caso os moradores desconfiem de intrusão. A Figura 2.1.12 é um dos produtos oferecidos pela Urban Security Systems, um painel wireless para controlar diversos sensores.



Figura 2.1.12: Sistema de segurança Urban Security Systems
(Urban security systems)

A domótica é um caminho natural para empresas de segurança. Uma das soluções mais comuns é a substituição dos circuitos fechados de televisão analógicos e de interfone por sistemas digitais, que podem ser acessados remotamente permitindo que os donos controlem as portas remotamente. A casa pode ser programada para avisar seus moradores, através de seus telefones celulares, da presença de visitas não esperadas e transmitir-lhes o vídeos captados. Com o acesso ao circuito fechado, fica fácil determinar se a visita em questão é bem ou mal intencionada. Assim, o morador pode evitar um furto, acionando a polícia no ato.

Os sistemas podem ficar mais complexos, com o uso da biometria e o sistema de perfis. Sabendo-se da rotina dos moradores, a casa pode alertar os seus donos automaticamente apenas quando pessoas não identificadas entram no seu recinto ou, em alguns casos, acionar diretamente a polícia.

Os sensores mais modernos são câmeras com sensores de presença instalados, gravando apenas quando há pessoas ou movimento no seu campo de visão (diminuindo a quantidade de horas gravadas, mantendo apenas vídeos úteis). Normalmente usam-se sensores de ultrassom (que permite medir distâncias e ajustar o foco automaticamente) ou infravermelho (veja na figura 2.1.13), e o vídeo é usado para confirmar a detecção. Assim pode-se definir perímetros ao redor da casa com diferentes níveis de resposta. A casa pode ativar sons e ligar luzes para desencorajar invasores; acordar seus moradores, caso intrusos estejam atravessando seu jardim; ou ativar alarmes e acionar a polícia caso haja uma invasão.



**Figura 2.1.13: Central de segurança digital e câmera com sensor IR
(Condomínio Mona Lisa, Porto Alegre)**

A rede de segurança da casa também pode integrar outros tipos de alarme, não específicos para crimes. Alarmes de fumaça ou detecção de vazamentos já são comuns, e outros detectores estão entrando no mercado, como os de acúmulo de neve. Se ligados com o sistema de controle, eles podem chamar automaticamente os serviços de emergência caso os moradores estejam de férias.

Teruel & Novelli (2007a) apontam a segurança como a maior necessidade do cliente brasileiro ao procurar automatizar sua casa. Com tantos sistemas de comunicação e monitoramento, aparece a questão de como manter a privacidade. Essa é uma outra necessidade de segurança: o acesso ao sistema deve ser fechado. Idealmente, a casa só ira fornecer vídeos para a internet quando houver a necessidade, um stream constante poderia ser usado para monitorar os moradores. Mesmo assim, todas essas redes e ambientes virtuais possuem problemas de segurança. Redes wireless em particular tem uma grande vulnerabilidade por espalhar seu sinal pelas redondezas, enquanto redes elétricas também podem ser de acesso fácil caso a caixa de disjuntores fique perto da rua, o que daria acesso do controle da casa a terceiros.

2.1.5. Conectividade

A *casa inteligente*, não vai usar somente controles e dispositivos separados, ela precisará de interconexão, tanto entre os seus subsistemas quanto com a internet. Acessar a casa remotamente com o uso da internet, como já vimos, é uma das funcionalidades mais flexíveis e procuradas.

Hoje em dia, praticamente todos os computadores são conectados à internet. Redes wireless, que dão à rede em qualquer lugar da residência são uma grande tendência, em conjunto com o crescimento da banda-larga. Home Servers, ou a criação de uma “rede doméstica”, podem ser uma tendência futura. Esses servidores geralmente não oferecem serviços para a rede externa, mas contém repositórios de arquivos diversos, como fotos e vídeos, fornecem acesso remoto, backups e sincronização de arquivos entre os diversos computadores da casa. O cérebro da *casa inteligente* poderia rodar sobre uma plataforma de rede doméstica, diminuindo a necessidade de múltiplos servidores em casa sem nenhum problema a mais. A microsoft lançou o Windows Home Server em novembro de 2007, tentando tomar parte do mercado que antes era ocupado principalmente por sistemas Unix, ainda estamos esperando pela popularização desses sistemas.

Esse acesso constante à internet não é apenas para lazer ou para acessar notícias e informações. Discute-se muito o *home office*, ou o trabalho em casa, sobre como aumentar a produtividade do trabalhador, oferecendo-lhe ambientes menos restritivos, ou o trabalho em casa (supervisionado remotamente).

Por muitos anos, a construção civil se preocupou apenas com a instalação de cabos de energia elétrica. O *cabeamento estruturado* é o nome dado ao conjunto de normas criadas para organizar as redes de dados em um prédio, definidos no Brasil pela norma NBR 14565. Ele prevê a disponibilização de pontos de rede para cada equipamento que será ligado a ela, dividindo a rede em uma hierarquia (veja na figura abaixo). Inicialmente o prédio se comunica com uma rede externa a partir de um equipamento de entrada, que liga a rede externa à sala de equipamentos, o hub central de comunicação da rede. O prédio é atravessado por cabos de backbone, que ligam a sala de equipamentos com as subestações, os armários de telecomunicações (idealmente um por andar), formando a rede primária. Os armários distribuem a conexão entre os diversos pontos de trabalho que eles alimentam, formando uma rede secundária.

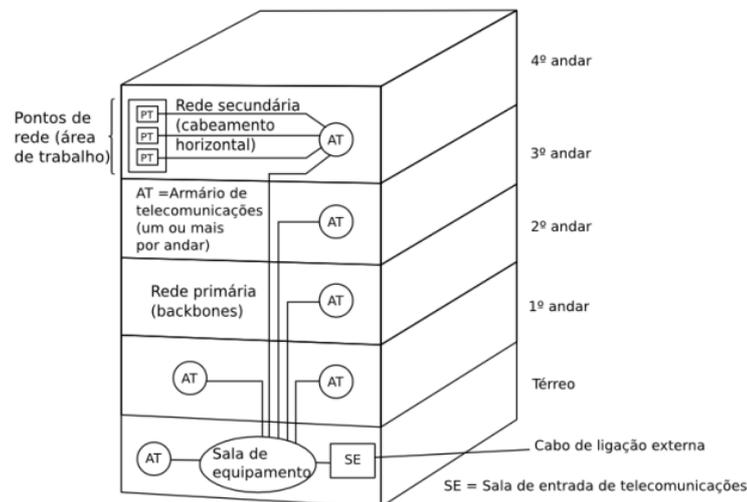


Figura 2.1.14: Cabeamento estruturado em edifícios
(Morimoto, 2008)

A instalação em uma única casa de uma rede usando as regras de *cabeamento estruturado* ficaria muito cara e seria um esforço exagerado, mas devemos a observação dessas regras nos auxilia a desenhar uma arquitetura de rede adequada.

2.2. Conclusões

Neves et al. (2007) e Chan et al. (2008) identificam como principais desafios técnicos para o futuro da automação residencial: a aplicação de tecnologias mais modernas para elevar a confiabilidade, melhorar a interface e dotar o sistema de controle de uma inteligência, capaz de realizar a comunicação entre objetos heterogêneos na casa (como o forno e o refrigerador) e monitorar os moradores. Basicamente, a aplicação de uma inteligência na casa.

Podemos dizer que essa *casa do futuro* terá uma arquitetura planejada, com maior acessibilidade e que possui características que lhe permite ser mais econômica. Ela terá múltiplas funcionalidades instaladas e um sistema de controle que reconhecerá seus moradores e guardará perfis. Essa casa também possuirá uma rede de sensores, que podem ser usados tanto para reforçar a segurança, quanto para auxiliar seus residentes.

Hoje, uma ampla gama de tecnologias diferentes estão disponíveis para a instalação na *casa inteligente*, dependendo do conhecimento e da experiência dos projetistas e dos recursos disponíveis para serem instaladas. Nem todas se tornarão comuns, muitas provavelmente continuarão a ser meras curiosidades de custo alto e pouca utilidade prática.

3. ESCOLHA E ESTUDO DOS PADRÕES

Neste capítulo iremos detalhar os sistemas de comunicação para *casa inteligente* e analisar alguns protocolos comumente usados nesses sistemas. Também analisaremos algumas técnicas de comunicação que usem meios físicos alternativos, verificando se podem ser utilizados para esse contexto.

3.1. Sistemas de comunicação para a *casa inteligente*

Como vimos, o sistema de controle da *casa inteligente* será ligado com todos os serviços disponíveis. Nota-se que não há como saber de antemão quais dispositivos serão controlados e quais serviços serão disponibilizados. Também não há uma tecnologia padrão de comunicação ou de controle para os diferentes aparelhos, podendo haver casos de uma mesma aplicação ser controlada de duas formas diferentes.

Por exemplo, uma residência poderia ter duas cafeteiras, uma que possui comandos via rede elétrica e outra que funcione apenas com um botão de ligar e desligar. A primeira pode possuir uma série de comandos diferentes, a serem transmitidos via rede elétrica. Ela pode possuir uma “agenda”, diferentes gostos de café, pode ter preparo automático, etc. Enquanto isso, a segunda pode, no máximo, ser controlada por uma chave de liga/desliga conectada na tomada, através de um aparelho que se comunique com a rede.

Poucos aparelhos são vendidos com sistemas de controle embutidos. Aqueles que não possuam capacidade de comunicação embutida podem ser convertidos para que possam “conversar” com a casa. A instalação de relés ou atuadores que se comuniquem com a casa nos botões e dialers do eletrodoméstico permitiria um controle perfeito. Mas esse tipo de instalação teria que ser artesanal, para hobbistas, algo muito pouco praticável para um profissional da domótica, que teria que analisar todos os eletrodomésticos de cada cliente e projetar como integrá-los na casa.

Uma *casa inteligente*, como foi vista, também deve possuir sensores ligados a sua rede de controle. Também não há um padrão de como esses sensores funcionam, alguns possuindo apenas dois estados, enquanto outros, como tecnologias de vídeo, precisam de uma taxa de transmissão de dados muito alta.

Surge a questão de como instalar um sistema de comunicação para a casa inteligente. Normalmente, dividem-se três tipos de protocolos usados na automação residencial (Cardoso), uma vez que a instalação de novos fios na casa são uma grande preocupação, pois a obra necessária afastaria muitos compradores em potencial. Os protocolos podem ser divididos em:

- Sem novos cabamentos:

Usam-se os cabos já disponíveis na casa, aproveitando uma parte da banda de comunicação disponível que não é utilizada. Normalmente temos uma limitada seleção, incluindo alimentação elétrica, telefonia e cabos de televisão.

- Com instalação de novos cabeamentos:

Fazem-se obras na casa ou passam-se fios usando uma estrutura já preparada para receber novas instalações (como calhas). Essas instalações tem a vantagem de serem específicas, adaptando-se às necessidades e características de cada tecnologia, mas nem sempre possuem uma flexibilidade adequada para o cliente. Dependendo de como a estrutura foi projetada, será necessário fazer mais obras caso o cliente compre novos eletrodomésticos.

- Sem fio:

As tecnologias sem fio são extremamente flexíveis e já são amplamente usadas a nível residencial com wi-fi para acesso à internet. Suas limitações são poucas, dependendo do transmissor. Algumas vezes, o posicionamento dos transmissores também ficará limitado pelo acesso a rede elétrica (ou seria necessário que o morador trocasse as baterias periodicamente), outras vezes o custo desses será proibitivo.

Os padrões a seguir foram escolhidos principalmente variando-se seus meios físicos, para analisar qual o impacto que eles teriam no preço final. Outras características levadas em consideração foram a flexibilidade (facilidade de instalação e configuração), velocidade comunicação ou ampla utilização. Também se priorizaram tecnologias não proprietárias ou abertas.

3.2. Considerações sobre os meios físicos presentes numa casa

Existe uma série de meios disponíveis para se transmitir dentro da casa, todos com suas vantagens e desvantagens.

Por estar ligada a praticamente todos os aparelhos, a rede elétrica é a primeira opção de comunicação numa casa. Infelizmente, ela é um meio muito ruim para se conduzir sinais elétricos, como analisado por Pavlidou *et. al.* (2003). Primeiramente, elas não possuem uma arquitetura para transmitir dados, podendo ser sistemas trifásicos, com três fases isoladas entre si, que precisam ser ligadas usando capacitores de acoplamento na caixa de disjuntores ou transmissores de rádio ligados nas tomadas certas, para que a instalação de qualquer sistema de comunicação PLC seja completa. A impedância da rede também muda bastante, com os eletrodomésticos servindo como pontos de baixa impedância, retirando sinais. Os fios da rede elétrica também não são blindados, sendo afetados por uma grande quantidade de ruído. Televisões, motores e outros elementos indutivos, assim como lâmpadas, também são responsáveis pelo ruído da rede, além de terem uma baixíssima impedância e comportamentos indutivos ou capacitivos, filtrando os sinais de transmissão. Como vemos em (Pavlidou *et. al.*, 2003), qualquer técnica de transmissão que deseje ter maiores alcances e qualidade de sinal deve usar recursos avançados, bastando comparar o X10 com o HomePlug (seção 3.3.1 e 3.3.8, respectivamente).

As linhas telefônicas e os cabos coaxiais são meios de transmissão excelentes, se comparados com as redes elétricas. Mesmo assim, esses cabos normalmente não são distribuídos de uma forma adequada para levar comandos para os aparelhos da casa, sendo normalmente distribuídos sob uma topologia de árvore por alguns cômodos, indo diretamente para a central de telefonia ou antenas. Mesmo assim, pode-se visar uma rede similar ao cabeamento estruturado, que use esses fios como backbone e montando uma rede secundária em cada sala via PLC.

A comunicação via rádio também é um meio muito comum para o ambiente residencial, não sendo limitadas por fiação, elas são mais flexíveis. Talvez seus únicos problemas sejam a

privacidade e a energia consumida pelos transmissores (uma preocupação para a automação residencial). Hoje as redes Wi-Fi são populares para garantir o acesso à internet de qualquer lugar em casa, talvez outros padrões de rádio, como o ZigBee, também sejam integrados na *casa inteligente* para controlar os serviços.

Se temos a liberdade de instalar outros fios, teremos acesso a um nível maior de segurança, velocidade e confiabilidade. Nesse caso vamos analisar os cabos de par trançado Ethernet e a fibra ótica (por representar um meio de transmissão mais próximo do ideal).

Já existem muitos produtos de controle residencial sobre o protocolo TCP/IP, e são comercializados por empresas como a Intraworks [4] e a Home Control Canada [5], cujos aparelhos trabalham com Ethernet. Usando esse protocolo, cada aparelho pode ser comandado tanto por um programa de controle, uma interface gráfica (um mapa da casa com ícones simples de rápido acesso) ou uma página web (que exibe dados complementares da máquina). Esses meios possuem uma taxa de comunicação maior, o que permite que mais informações circulem pela rede. Utilizar a rede de dados da casa para controlar as aplicações domésticas pode ser mais mais prático e econômico do que usar pontes entre os dois sistemas.

3.3. Padrões de comunicação

Os padrões escolhidos estão listados na tabela abaixo, divididos em duas categorias: Tipo de instalação e finalidade do padrão.

Tabela 3.3.1: Padrões de comunicação estudados para a casa inteligente

Finalidade ----- Instalação	Padrões Específicos de Domótica	Padrões para Internet	Outros padrões
Sem novas instalações	X10 (PLC) UPB (PLC) INSTEON (Rádio e PLC)	HomePlug Home PNA	
Com novas instalações		Ethernet Fire Wire	
Sem Fio	Z-Wave	Wi-Fi	EnOcean Bluetooth ZigBee

Também serão analisadas as tecnologias de transmissão via infravermelho e via laço magnético, como tecnologias alternativas para substituir fios na transmissão.

3.3.1. O X10:

Desenvolvido em 1974, pela Pico Electronics, foi introduzido no mercado em 1978 pela RadioShack, como um dos primeiros padrões para a automação residencial. Mesmo após tantos anos, o X10 continua a ser amplamente utilizado, por ser barato, simples e por apresentar uma característica “Plug & Play”, bastando conecta-lo os aparelhos para utilizá-los. Por sua idade e amplo uso em projetos amadores de domótica, é considerado o pai dos padrões de domótica. Diversas empresas já desenvolveram produtos para esse padrão, dentre elas podemos citar: GE, RCA, Philips, Magnavox, Gemini, Leviton, RadioShack, ATI e Black & Decker.

3.3.1.1. Funcionamento

Esse protocolo se comunica através da rede elétrica, enviando bits como pulsos de 120Khz ao mesmo tempo em que a rede elétrica cruza o zero, um ‘1’ é representado por um pulso de 1ms e um ‘0’ pela ausência desse pulso (veja Figura 3.3.1). Para evitar problemas com fases diferentes da rede, o pulso é transmitido três vezes pelo fio neutro (um a cada 120° de alternância). Assim, o sinal é transmitido para toda a residência, pois o neutro é ligado com todas as fases. Os sinais podem possuir um atraso de até 100 micro-segundos do ponto esperado. A sua taxa de comunicação final depende da rede local, dependendo da frequência da rede (a 50Hz, ele transmite 20bps; aqui no Brasil, a 60Hz, sua taxa seria de ~16bps).

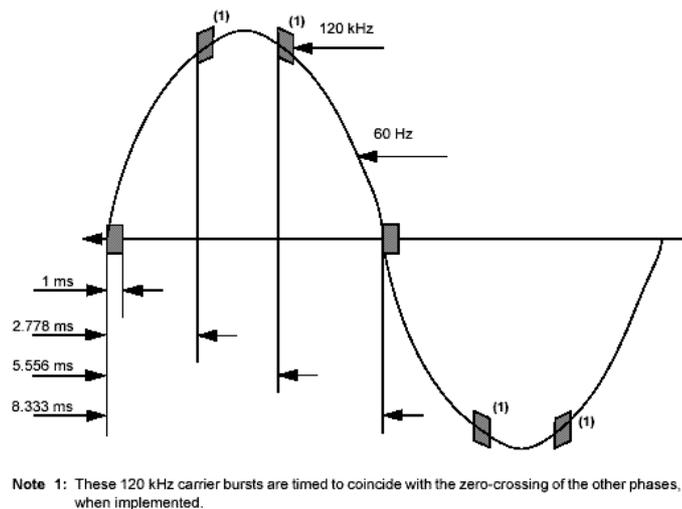


Figura 3.3.1 - Forma de onda da transmissão dos dados no protocolo X10, com os tempos médios de cada transmissão.

(Electronics)

Os aparelhos são endereçados usando-se um conjunto de 8 bits, divididos entre 4 bits de *House Code*, que endereça 16 grupos de aparelhos para serem controlados, e 4 bits de *Numeric Code*, que indica um dos 16 aparelhos agrupados em cada *House Code*. Isso gera um total de até 256 aparelhos por residência, caso elas tenham suas rede elétricas isoladas. Caso contrário, os *House Codes* deveriam identificar residências únicas, limitando um máximo de 16 aparelhos para cada. A transmissão dos dados na rede é feita com pacotes de 13 bits, que sempre são enviados duas vezes, com 3 bits em zero como espaço *interframe*. Os primeiros 4 bits são o *Start Code* (1110), seguidos por 4 bits de *House Code*. Os últimos 5 bits são os *Key Codes*, que podem representar um *Código Numérico* ou um *Código de Função*. A tabela (3.3.2) e a figura (3.3.2) a seguir identificam os códigos:

Tabela 3.3.2 - Identificação dos comandos X10

Nome da Função	Ação
All units Off	Desligar todos aparelhos com o <i>House Code</i>
All Lights On	Desligar todos aparelhos de luz
On	Ligar o aparelho
Off	Desligar o aparelho
Dim	Diminuir a intensidade da luz
Bright	Aumentar a intensidade da luz
Extension code	Códigos de extensão – um código extra de 8 bits que segue imediatamente o pacote, para maior precisão para o controle de aparelhos
Hail Request	Resposta dos aparelhos do <i>house code</i> indicado
Hail Acknowledge	Resposta do comando anterior
Pre-Set Dim	Para dimmers, seleção de dois níveis de luz
Status Request	Requisição do status de um aparelho
Status is On	Resposta para o comando anterior
Status is Off	Resposta para o comando anterior

	House Codes				Key Codes					
	H1	H2	H4	H8	D1	D2	D4	D8	D16	
A	0	1	1	0	1	0	1	1	0	0
B	1	1	1	0	2	1	1	1	0	0
C	0	0	1	0	3	0	0	1	0	0
D	1	0	1	0	4	1	0	1	0	0
E	0	0	0	1	5	0	0	0	1	0
F	1	0	0	1	6	1	0	0	1	0
G	0	1	0	1	7	0	1	0	1	0
H	1	1	0	1	8	1	1	0	1	0
I	0	1	1	1	9	0	1	1	1	0
J	1	1	1	1	10	1	1	1	1	0
K	0	0	1	1	11	0	0	1	1	0
L	1	0	1	1	12	1	0	1	1	0
M	0	0	0	0	13	0	0	0	0	0
N	1	0	0	0	14	1	0	0	0	0
O	0	1	0	0	15	0	1	0	0	0
P	1	1	0	0	16	1	1	0	0	0
					All Units Off	0	0	0	0	1
					All Lights On	0	0	0	1	1
					On	0	0	1	0	1
					Off	0	0	1	1	1
					Dim	0	1	0	0	1
					Bright	0	1	0	1	1
					All Lights Off	0	1	1	0	1
					Extended Code	0	1	1	1	1
					Hail Request	1	0	0	0	1
					Hail Acknowledge	1	0	0	1	1
					Pre-Set Dim	1	0	1	X	1
					Extended Data (analog)	1	1	0	0	1
					Status = on	1	1	0	1	1
					Status = off	1	1	1	0	1
					Status Request	1	1	1	1	1

Figura 3.3.2 - Identificação de códigos

(X-10 (a))

Com cada comando demorando no mínimo 0,65 segundos para serem enviados, a velocidade desse protocolo impossibilita o seu uso para criar sistemas com sensoramento inteligente ou uma rede de dados residencial. Normalmente, o X10 é utilizado apenas para ligar ou desligar os aparelhos (como podemos ver pelos *Function Codes*), e se houver a

necessidade de transferência de dados, essa deve ser feita utilizando outras redes. Uma câmera de vigilância, por exemplo, não poderia enviar o seu vídeo diretamente para o computador de controle usando a rede X10, mas precisaria de um cabeamento extra para isso.

O protocolo também apresenta suporte ao rádio (para possibilitar o uso de controles remotos), usando uma portadora de frequência de 310 MHz e modulação em frequência.

Infelizmente, o protocolo X10 não é apenas muito lento, mas possui um número muito grande de problemas com sua transmissão. Para começar, sempre há um grande decaimento de sinais quando se transmite dados entre fases diferentes da rede elétrica, pois elas são isoladas. Todos os dados transmitidos pelo fio neutro podem ser atenuados, pois as fases, mesmo sendo sincronizadas, podem não ter as mesmas relações de tensão com o fio neutro. A solução mais comum para esse problema é ligar conectar o sinal entre as fases da casa, um capacitor de alta potência ou uma ponte, como o LV6299 ou o XPXPCP. Ligar um transmissor de rádio na fase do controlador e receptores de rádio em cada uma das outras fases também é comum.

A tensão dos sinais transmitidos pelo X10 não são rigorosamente definidas, e variam entre 4 e 20 volts, sendo muito baixos para uma transmissão efetiva por mais de 30 metros de distância. A própria rede elétrica atenua sinais de alta frequência e causa uma grande distorção em todos os sinais por ter caminhos múltiplos. É dito que a confiabilidade de cada transmissão de frame do X10 não ultrapassa 70% (Systems, 2003).

3.3.1.2. Observações

Como foi comentado, a instalação do X10 é extremamente simples, só precisando instalar seus módulos de controle e configurando-os com os *dialers* para identificá-los (ver figura abaixo).



Figura 3.3.3: Módulo de controle de tomada para o X10 (X-10 (b))

O X10 também é muito vulnerável a ruídos. Quando se ligam os aparelhos na rede elétrica, uma infinidade de pulsos em várias frequências são enviados para a rede. Como o X10 não possui controle de erros, numeração de quadros ou mesmo controle de colisões, ele possui uma baixíssima confiabilidade. Também há um alto decaimento dos sinais com a distância, muitos aparelhos podem funcionar como filtros na rede, atenuando os sinais de alta frequência utilizados. Muitos usuários reportam problemas com a televisão e com lâmpadas fluorescentes, que consomem o sinal por sua baixa resistência de entrada.

Para que a transmissão seja assegurada, recomenda-se a instalação de filtros de linha para todos os aparelhos, juntamente com a instalação de pontes de dados entre as fases diferentes

da casa e instalação de repetidores para os cômodos mais distantes da casa. Também deve-se isolar a casa da rede elétrica externa com um filtro, para isolar o acesso ao controle da casa.

Também é importante ressaltar que o X10 não possui nenhuma capacidade para mais de um sistema transmissor, sua arquitetura necessariamente será centralizada, o que requer um planejamento para a instalação de sensores (uso de uma técnica de pooling).

Com tantos problemas, aparentemente o X10 não é mais um padrão adequado para se construir todo um sistema de *casa inteligente*, talvez apenas o controle de alguns dispositivos (como a iluminação). É importante ressaltar que há muitas empresas que ainda o utilizam. Talvez esse padrão minimalista permita fazer um controle razoável do ambiente, sendo necessário comparar sua qualidade de serviço com outros padrões mais novos.

3.3.2. Universal Powerline Bus (UPB):

O UPB foi desenvolvido em 1999 pela Powerline Control Systems para ser uma alternativa mais confiável ao X10, mas com um preço competitivo e a mesma facilidade de instalação e configuração. Hoje a PCS foi comprada pela PulseWorx [6], fabricante de produtos para automação residencial.

3.3.2.1. Funcionamento

O UPB funciona através do envio de pulsos de 40 volts na rede elétrica numa região onde o ruído é menor (ilustrada na Figura 3.3.4). Esses pulsos podem estar em quatro posições diferentes, cada uma codificando um valor de 0 a 3 (Pulse Position Modulation). Assim, o UPB envia 2 bits de dados a cada meio período, gerando uma taxa de comunicação de 240 bps. O UPB também possui parâmetros para comunicação via rádio, mas não o utiliza para troca de informações, apenas para o uso de controles remoto.

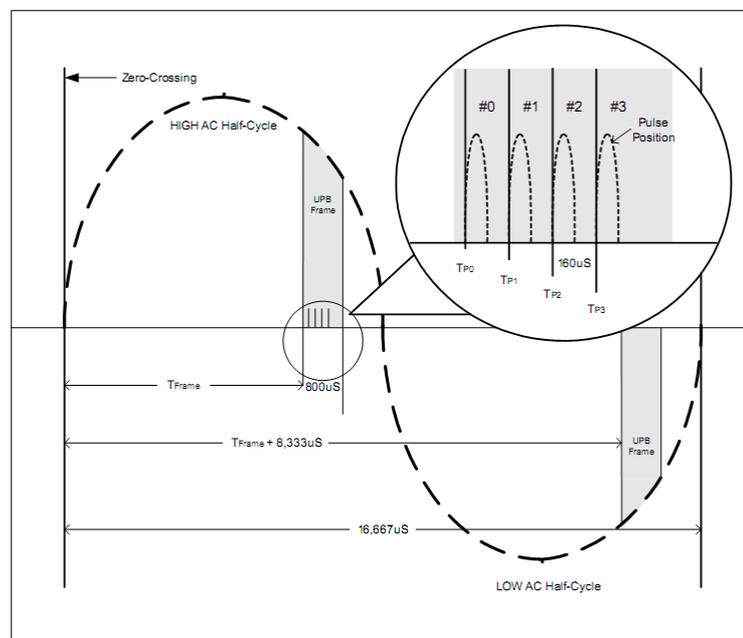


Figura 3.3.4 - Comunicação do sinal UPB
(Systems, 2003)

O frame UPB possui um mínimo de 7 bytes, e um máximo de 25 bytes, e está ilustrado na Figura 3.3.5. Note que são indicadas as posições do pulso UPB, e não os bits que compõem o pacote. O primeiro byte serve de preâmbulo, indicando o início de uma transmissão. Ele é

seguido por um Header de 5 bytes (esclarecido a seguir), até 18 bytes de mensagem e 1 byte de checksum. O protocolo usa detecta a colisão do pacote com o algoritmo CSMA/CD, evitando superposições.

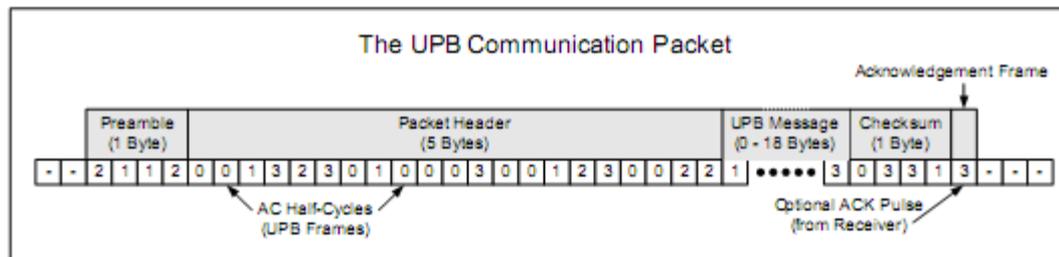


Figura 3.3.5 - Frame UPB de comunicação
(Systems, 2003)

O Header do pacote UPB é composto por 4 campos, uma palavra de controle (de dois bytes), um Network ID, Destination ID e o Source ID. A palavra de controle é composta por 7 campos diferentes, veja a Figura 3.3.6:

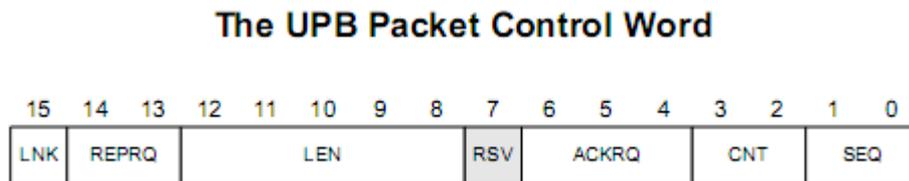


Figura 3.3.6 – Palavra de controle do Frame UPB
(Systems, 2003)

- LNK:

Indica se o pacote possui um endereço de Link, um agrupamento. Um aparelho ligado possui uma lista de IDs para mensagens que ele irá aceitar como se fossem suas. Pode-se, com isso, ligar todas as luzes da sala e apagá-las com um só comando, sem ter que definir múltiplas *Networks*.

- REPRQ:

Requisição para que haja uma retransmissão pelos repetidores que estejam instalados na rede, quando a área para a instalação é muito grande e requer retransmissores. Suas configurações são para que o pacote seja repetido 0, 1, 2 ou 4 vezes.

- LEN:

Indica o comprimento total do pacote.

- RSV:

Bit reservado para uso futuro.

- ACKREQ:

Esses três bits codificam três maneiras diferentes para o receptor enviar uma mensagem de confirmação de recebimento. O primeiro modo, envia um pulso de Ack, de valor 3, logo após receber o pacote. O segundo, envia um pulso de valor 3 com um atraso igual ao *Unit ID* do aparelho, enquanto o terceiro requer o envio de uma mensagem inteira. Esses outros modos existem para que o controlador possa

checar o comportamento da rede elétrica, mas isso deve ser implementado pelo instalador.

- CNT e SEQ:

Indicam, respectivamente, quantas vezes o pacote deve ser enviado (1-4 vezes), e quantas vezes ele já o foi. Usado para ter uma precisão melhor sobre uma rede ruidosa.

Cada aparelho do UPB é identificado por um total de 16 bits: 8 para indicar o *Network ID* e 8 para o *Unit ID*. O primeiro identifica até 256 agrupamentos diferentes de aparelhos; pode-se usar cada um desses endereços para indicar um apartamento (no caso de um prédio com controle central), ou para indicar um agrupamento inteiro de aparelhos (luzes, aparelhos da cozinha, da sala...). O *Unit ID* identifica individualmente até 250 aparelhos do mesmo *Network*, possuindo 6 endereços reservados, um para Broadcast (todos aparelhos da mesma rede), um endereço default (aparelhos que ainda não foram configurados) e dois endereços para configuração dos aparelhos (quando em configuração, um aparelho entra no modo SETUP e pode receber um novo ID).

Em cada aparelho, há um mínimo de 64 registradores de 8 bits que mantêm a UPBID, uma série de dados de configuração sobre cada um dos aparelhos da rede. Esses dados incluem as IDs do aparelho, um password que permite modificar os aparelhos, um código de fabricante e de produto, um número serial de 32 bits, a versão do protocolo suportada pelo aparelho e nomes de 16 caracteres ASCII para a rede, a sala e o aparelho em questão (para facilitar suporte e manutenção da rede).

Cada pacote UPB possui até 17 bytes de mensagem, com um 1 byte de *Message Header*. Desses 8 bits, 3 são usados para o MSID (*Message Set ID*) e 5 para o MID/ESID (*Message Identifier/Extended Set ID*), que identificam uma série de comandos do padrão e do aparelho. Ao contrário do X10, a maior parte dos comandos do UPB são destinados para a configuração do aparelho, configuração de *links* e para a leitura do status do sinal que ele recebe. As funções específicas de cada aparelho geralmente devem ser aprendidas pelo controlador, o que permite uma grande flexibilidade.

3.3.2.2. Observações

O UPB é um sistema de fase única, que precisa da instalação de repetidores e pontes entre-fase para alcançar toda a residência. Sua maior característica é injetar pulsos DC, que parecem ter maior alcance na rede elétrica. Ele possui uma arquitetura sólida, e pode ser usado para um controlador inteligente se reconfigurar para manter uma confiabilidade alta em diversas situações. O fabricante afirma que a confiabilidade da transmissão do UPB é de 99% dentro do seu alcance, podendo haver alguns problemas caso outros aparelhos estejam entre o transmissor e o receptor (o que exigiria a instalação de retransmissores). Apesar disso, ele ainda é um protocolo lento, cada frame requer cerca de 0,1 segundo para ser enviado, o que o inviabiliza como uma plataforma de dados. Ele também não tem uma característica “Plug & Play”, sendo necessário configurar cada aparelho instalado na rede, o que prejudica um pouco a sua praticidade.

Após ter sido comprado pela PulseWorx, o UPB foi integrado com o sistema de transmissão via rádio EnOcean (ver seção 3.3.12), para usar controles remotos sem fio e sem a necessidade de baterias.

3.3.3. O Z-Wave

Padrão proprietário, regulamentado pela Z-Wave Alliance, foi desenvolvido em 1999 para a automação residencial com comunicação wireless. O Z-Wave é muito similar ao ZigBee, como veremos, e tem alcançado relativo sucesso pela sua abordagem (Galeev, 2006).

3.3.3.1. Funcionamento

Ele utiliza rádios de baixo consumo operando na faixa ISM de comunicação, a cerca de 908MHz, com modulação GFSK (Gaussian frequency-shift key, modulação em frequência que utiliza um filtro para limitar as frequências) e codificação Manchester, alcançando uma taxa de transmissão de até 40Kbps (a primeira versão do protocolo atingia 9,6Kbps) e tem um alcance médio de 30 metros. Apesar de ter um alcance relativamente curto, o Z-Wave utiliza uma rede de malha (*mesh*, ver figura 3.3.7), com todos os seus componentes sendo capaz de retransmitir os sinais até chegar ao destino. Novos equipamentos são conectados automaticamente com a rede, após se conectarem ao módulo mestre.

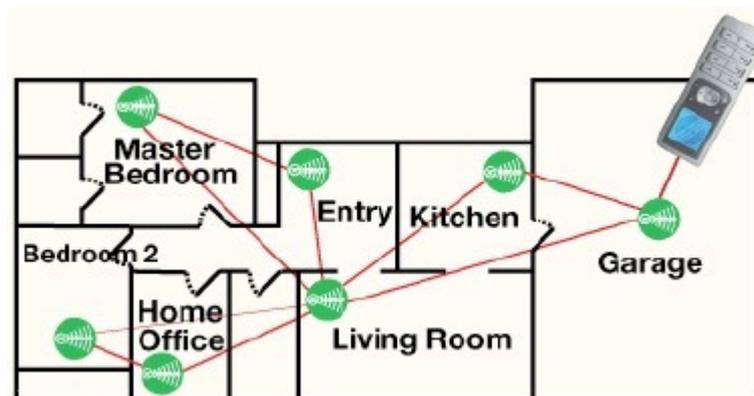
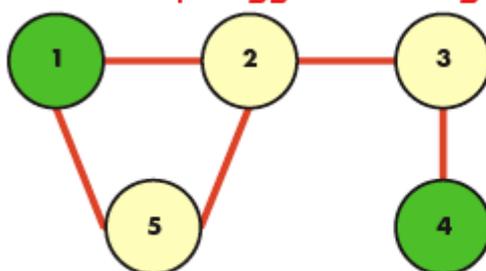


Figura 3.3.7: Exemplo de rede Mesh
(Z-Wave (b))

O protocolo determina dois tipos de nodos na rede: os *controlling devices* e os *slave nodes*. Os aparelhos de controle são responsáveis por manter uma tabela de roteamento (Figura 3.3.8) com as rotas para se atingir cada nodo escravo (que representam os aparelhos controlados) e enviam comandos. Para diminuir os custos e o consumo, alguns aparelhos não são capazes de rotear dados.

Network topology and routing table



	1	2	3	4	5	6
1	0	1	0	0	1	0
2	1	0	1	0	1	0
3	0	1	0	1	0	0
4	0	0	1	0	0	0
5	1	1	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0

Source: courtesy of Zensys

Figure 3

Figura 3.3.8 – Exemplo de tabela de roteamento do Z-WAVE
(Galeev, 2006)

O Z-Wave usa dois códigos de identificação de aparelho: o *Home ID* (de 32 bits) e o *Node ID* (de 8 bits). Sempre há um controlador central, chamado de *Static Update Controller ID Server*, que é responsável por formar a tabela de roteamento da rede e repassá-la para os outros controladores, e apenas um *Home ID*, o que limita o número de aparelhos a um máximo de 232 nodos (pois existem endereços reservados de multicast e broadcast). Esse controlador cria uma tabela de roteamento, a cada vez que um nodo novo é inserido na rede, ele envia um frame por broadcast e o controlador fará um pooling entre todos os nodos já existentes requerendo o seu *node information frame*, que, contém a identificação do nodo, seu tipo e quais os nodos que ele consegue ver.

A transmissão dos pacotes está dividida em quatro níveis: Aplicação, Roteamento, transporte e MAC, ilustrados abaixo:

Z-Wave protocol frame structure

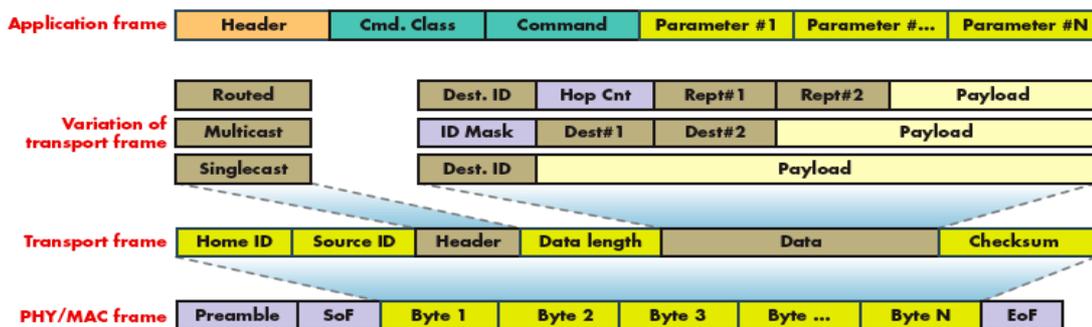


Figure 2

Figura 3.3.9 – Frame Z-WAVE
(Galeev, 2006)

O nível de aplicação é responsável por executar os comandos recebidos. Nesse estágio, seu frame é composto por um header (que contém informações sobre o tipo de frame e tipo de comando). Dois bytes de comando, o primeiro identificando a classe de comando e o segundo, o comando específico. As classes de comando são definidas como comandos de protocolo (roteamento, transmissão de dados) e específicas de aplicação (aparelhos de iluminação, controle de portas, ar condicionado, etc). O frame termina com um payload de dados e argumentos.

O nível de roteamento contém uma lista dos nodos pelos quais a mensagem deve passar antes de chegar ao seu destino. Caso haja algum problema de rota, como a falha de um dos nodos, o *SUC ID Server* deve ser contatado para resolver uma nova rota.

A nível de transporte, os nodos que recebem o frame identificam se ele lhes é destinado (através dos *IDs*) e verificam erros de transmissão, através do envio de mensagens de Acknowledge.

A nível MAC, da transmissão física entre dois nodos, os dados são divididos em payloads de 64 bytes, que são transmitidas pelo rádio (juntamente com um preâmbulo e bytes de início e finalização de transmissão). Todos os nodos que recebem essa transmissão, checam o frame de transporte, que leva a identificação do nodo destinatário da informação. Para evitar colisões, o protocolo transmite os dados alguns instantes depois de transmitir o preâmbulo, para que os outros nodos não transmitam nesse período.

Se houver a necessidade de conectar a rede Z-WAVE com outra rede de dados, usa-se um controlador de ponte. Pode-se usar pontes entre duas redes Z-WAVE para aumentar o número máximo de componentes que podem ser controlados numa casa.

3.3.3.2. Observações

A rede Z-WAVE é bem flexível e fácil de instalar, e sua topologia de malha parece ser adequada ao ambiente da casa inteligente, evitando a necessidade de retransmissores. Ela possui uma confiabilidade muitas vezes maior do que a do X10 e UPB e sua plataforma requer menos configurações. Os seus aparelhos são projetados para funcionar com um consumo mínimo, o que permite que eles operem usando baterias, facilitando sua instalação. Existem mais de 160 fabricantes cadastrados na Z-Wave Alliance [7], fabricando produtos compatíveis. Mesmo assim, essa rede pode apresentar problemas de segurança, bastando conhecer o Home ID de uma casa para poder conectar um controle remoto, que poderia ser usado para controlar a casa por fora (se o controlador central não estiver bem configurado).

3.3.4. O INSTEON

Outra tecnologia desenvolvida como uma sucessora para o X10, o INSTEON [8] foi criado pelo SmartLabs em 2001, e é retro-compatível com seu “antecessor”. Ele se baseia na construção de uma rede *mesh* (de malha), usando rádio frequência e envio de dados sobre a rede elétrica (Darbee, 2005). Todos os aparelhos INSTEON agem como repetidores das mensagens que recebem, o que resolve os problemas de caminhos da rede e distância alcançada pelas mensagens, não havendo diferença entre os transmissores para sensores, atuadores e controladores. Cada mensagem possui um indicador de quantas vezes ela deverá ser retransmitida (hops), sendo o limite prático de até 4 repetições.

3.3.4.1. Funcionamento:

Sua comunicação em nível elétrico se dá com PSK (modulação de fase), sobre uma portadora de 131,65KHz na rede elétrica, com uma tensão que varia entre 0,01 e 4 volts. Cada bit é sinalizado com 10 períodos da portadora, os bits em ‘1’ são aqueles cujo ciclo começa indo para o positivo e os em ‘0’ para o negativo. Isso gera uma velocidade de pico teórica de 13,1 Kbs para o protocolo. Para evitar a criação de componentes de alta frequência, a transição de fase sempre se dá de uma forma gradual: muda-se a frequência para 197.475 KHz durante 1.5 ciclos, o que causa uma mudança de 180° de fase da onda (Figura 3.3.10).

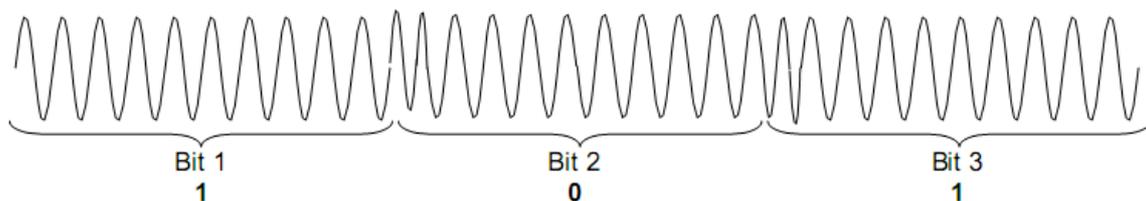


Figura 3.3.10 – Transição de fase do INSTEON

(Darbee, 2005)

O protocolo de rádio do INSTEON, como muitos outros, usa uma modulação FSK (em frequência) com codificação *manchester*, e opera sobre a faixa de rádio ISM (*instrumental, scientific and medical*), que é de uso aberto, a 904 MHz. Esses comunicadores de rádio são usados principalmente como controles remotos e para substituir as pontes entre as diferentes fases da rede elétrica, ou para interligar duas redes diferentes, facilitando o trabalho para qualquer instalador e diminuindo a necessidade de obras. As taxas de transmissão alcançam 38,5Kbps e tem um alcance médio de 45 metros

A comunicação no INSTEON é feita através de mensagens de 10 bytes (Figura 3.3.11), que podem receber mais 14 bytes extras de dados. Os 3 primeiros bytes indicam o endereço do remetente e os 3 seguintes, o do destinatário. O byte seguinte contém as flags de controle, seguida por 2 bytes para comandos, mais 14 bytes opcionais de dados e 1 byte final de CRC. Para evitar colisões, usa-se CSMA/CD.

INSTEON Standard Message – 10 Bytes				
3 Bytes	3 Bytes	1 Byte	2 Bytes	1 Byte
From Address	To Address	Flags	Command 1, 2	CRC ³

Figura 3.3.11 – Mensagem padrão do INSTEON
(Darbee, 2005)

Os bits de FLAG contém configurações da transmissão, veja na figura a seguir:

Bit Position	Flag	Meaning
Bit 7 (Broadcast /NAK) (MSB)	Message Type	100 = Broadcast Message
Bit 6 (Group)		000 = Direct Message 001 = ACK of Direct Message 101 = NAK of Direct Message
Bit 5 (Acknowledge)		110 = Group Broadcast Message 010 = Group Cleanup Direct Message 011 = ACK of Group Cleanup Direct Message 111 = NAK of Group Cleanup Direct Message
Bit 4	Extended	1 = Extended Message 0 = Standard Message
Bit 3	Hops Left	00 = 0 message retransmissions remaining
Bit 2		01 = 1 message retransmission remaining 10 = 2 message retransmissions remaining 11 = 3 message retransmissions remaining
Bit 1	Max Hops	00 = Do not retransmit this message
Bit 0 (LSB)		01 = Retransmit this message 1 time maximum 10 = Retransmit this message 2 times maximum 11 = Retransmit this message 3 times maximum

Figura 3.3.12 – FLAGS do INSTEON
(Darbee, 2005)

Os bits [7-5] informam que tipo de mensagem está sendo passada, que pode ser uma *Direct Message* (mensagem para um aparelho específico), de *Broadcast* (o endereço de destino irá indicar os tipos de aparelho que receberão a mensagem) ou *Group Broadcast* (pode-se definir grupos de aparelhos, identificados por 8 bits do *To Address*, um aparelho pode participar de mais de um grupo). Aqui também se identificam as mensagens de Ack e Nack.

O bit 4 identifica o tamanho da mensagem, que pode ser de 10, simples, ou 24 bytes, estendida.

Os últimos 4 bits são usados para controlar o número de *Hops* (retransmissões) que cada mensagem deve ser submetida. Esse número é determinado pelo transmissor dependendo do tamanho da rede. As retransmissões eliminam a necessidade de algoritmos de roteamento, e são feitas pelos aparelhos da rede que não transmitiram a mensagem. A rede doméstica, geralmente, é pequena e dificilmente será necessário aplicar mais do que quatro Hops. Caso

haja perda de pacotes, os fabricantes sugerem realocar os aparelhos de uma forma mais distribuída.

Uma mensagem normal carrega dois bytes para comandos. Normalmente, o primeiro byte identifica o comando, enquanto o segundo carrega argumentos, parâmetros ou sub-comandos. Os comandos podem ser direcionados à controle da rede ou de um aparelho particular. Os aparelhos são agrupados por tipo, o que indica quais comandos que ele pode receber.

A transmissão das mensagens na rede elétrica é feita dividindo-as em pacotes (5 para uma mensagem padrão e 11 para uma estendida), para se ter um melhor controle da transmissão. O primeiro pacote da é chamado de *Start Packet*, e os outros são chamados de *Body Packets*. Cada pacote possui um conjunto de bits de sincronização e um código de início. Pacotes start carregam 12 bits de dados, enquanto os pacotes body levam 18. Veja as estruturas abaixo:

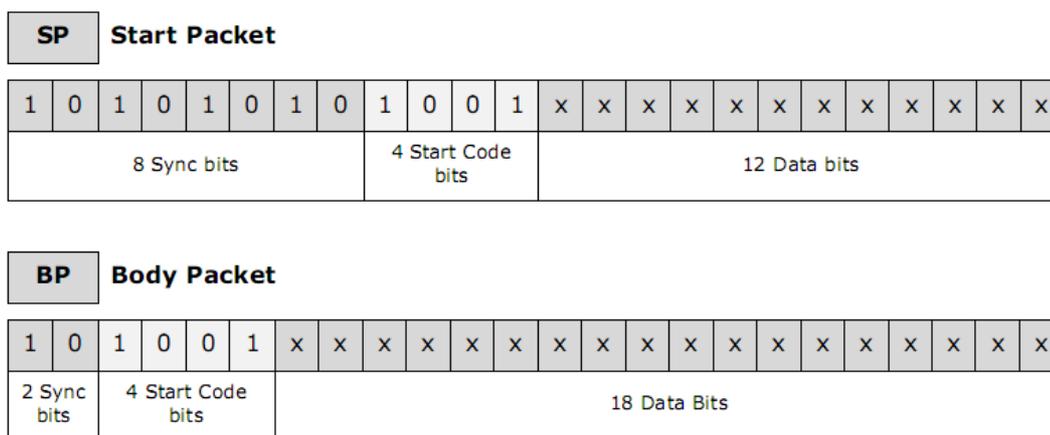


Figura 3.3.13 – Start codes do INSTEON

(Darbee, 2005)

Cada pacote é enviado apenas durante o cruzamento do zero da rede elétrica, quando a taxa de ruídos da rede elétrica é menor. Isso diminui a velocidade de transmissão da rede a níveis bem menores do que o possível. O protocolo envolve uma técnica de comunicação chamada Simulcasting, garantindo que todos os dispositivos conectados a rede leiam qual o sentido da portadora e transmitam no mesmo sentido, o que reforça o sinal. Isso é possível pelo Insteon usar uma codificação binária, o que torna o controle da portadora mais simples.

A taxa de comunicação depende do tamanho dos pacotes transmitidos e da quantidade de retransmissões que eles estarão submetidos. Observe a figura 3.3.14:

Condition			Bits per Second		
Max Hops	ACK	Retries	Standard Message Usable Data	Extended Message Usable Data	Extended Message User Data Only
0	No	0	1440	1698	1034
1	No	0	720	849	517
2	No	0	480	566	345
3	No	0	360	425	259
0	Yes	0	720	849	517
1	Yes	0	360	425	259
2	Yes	0	240	283	173
3	Yes	0	180	213	130

**Figura 3.3.14 - Taxas de transmissão do INSTEON
(Darbee, 2005)**

As mensagens enviadas por rádio não são quebradas em pacotes, pois o ambiente é bem mais confiável e rápido.

3.3.4.2. Observações:

O INSTEON é um protocolo extremamente eficiente, que mantém uma grande simplicidade e a característica Plug & play. Ele consegue resolver grande parte dos problemas de conectividade da rede elétrica vistos no X10 e no UPB através do uso de rádios e transmissores RF ao mesmo tempo. O protocolo tem uma arquitetura eficaz de comunicação, interligando todos os aparelhos, o que permite fazer um controle distribuído da casa onde os sensores ativam os aparelhos de acordo com o que eles percebem possuindo, aparentemente, as melhores qualidades do UPB e do Z-WAVE. Ele também possui uma banda de comunicação muito baixa, ineficaz para aplicações de transmissão de dados.

Existem muitas comparações entre o INSTEON e o X10, já que ele é retro-compatível. Em diversos fóruns e blogs de automação residencial, como o Live Automatic [9], nota-se uma grande aprovação desse sistema, mesmo quando comparado com o Z-Wave, principalmente pelas seguintes características: Resistência à interferência causada por sinais Wi-Fi, por se basear na comunicação PLC; é retro compatível, então pode-se usar produtos X10 e existe uma variedade maior de produtos Insteon. Por esses motivos, ele é considerado como o sucessor do X10 por hobbistas.

3.3.5. O Ethernet

O Ethernet é um dos padrões mais utilizados o acesso à internet para computadores pessoais. Nesse trabalho, estudaremos o Ethernet sobre o cabo Cat5 (o mais comum), que usa quatro pares de fios trançados para transmissão de dados. Serão estudados as versões 100BASE-T (*Fast Ethernet*) e 1000BASE-T (*Gigabit Ethernet*), com velocidades respectivas de 100 Mbps e 1Gbps.

O Ethernet foi inicialmente desenvolvido pela Xerox em 1975, como um sistema de comunicação de dados multi-ponto com detecção de colisão (usa o CSMA/CD) usando cabos coaxiais como meio de transmissão de dados. As dificuldades de se lidar com esses cabos,

que tornavam trabalhosa a conexão de novos aparelhos na rede, levou ao desenvolvimento dos cabos Cat5. O Ethernet também tem suporte a conexões de fibra-ótica.

O uso dessas técnicas permite uma grande rejeição à ruídos, permitindo taxas altas de comunicação com muita confiabilidade. O ano de lançamento do *Fast Ethernet* foi 1995 e o do *Gigabit*, 1997, ambos sob o mesmo cabo (Cat5e, figura 3.3.14).

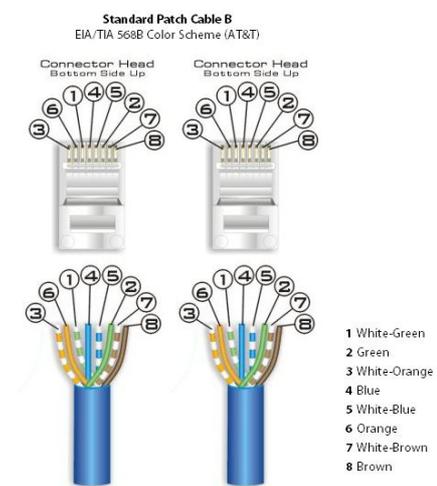


Figura 3.3.15 – Cabos Cat-5

(Ace, 2009)

3.3.5.1. Funcionamento

A comunicação dos dados é digital, utilizando a codificação *manchester*, o que impossibilita o uso de outros protocolos simultâneos no mesmo barramento. Para evitar erros na transmissão, usa-se uma taxa de 8bits / 10 bauds. A frequência de comunicação é de 125 MHz em ambas as técnicas. Para o *Fast Ethernet*, dois pares são utilizados (Tx+, Tx-, Rx+ e Rx-), utilizando 3 tensões para sinalizar: 0, +1V e -1V. O que permite o *Gigabit Ethernet*, é o fato de que ele utiliza os quatro pares do cabo para a comunicação, e sua sinalização utiliza 5 níveis de tensão (0, +1V, +2V, -1V e -2V).

O Ethernet se comunica através de frames com um tamanho entre 72 e 1526 bytes, precisando de um *gap interframe* de 12 bytes. Os seus frames são endereçados com um endereço único chamado *Media Access Control Address* (MAC) de 6 bytes, necessário para qualquer aparelho se comunicar na rede

Cada frame possui 7 bytes de preâmbulo (para sincronização do receptor), um byte de início de frame (SoF), 12 bytes para identificação de endereços (de envio e de destino), um campo de 2 bytes de comprimento do pacote (ele também é usado para identificar um outro protocolo que esteja encapsulado). O protocolo é flexível e poderia encapsular pacotes de outros padrões de controle doméstico, pois o payload tem tamanho suficiente:

Tabela 3.3.3 - Frame Ethernet

Preâmbulo	Sof	Dest Mac	Source Mac	Length	Payload	CRC32
7 bytes	1 bite	6 bytes	6 bytes	2 bytes	46-1500 bytes	4 bytes

3.3.5.2. Observações

O alcance máximo para cada cabo é de 100 metros, mas isso depende muito da qualidade do cabo, pois o padrão é sensível às variações de resistência, especialmente quando estamos usando o *Gigabit Ethernet*. O standard Cat5e tem suporte ao cabeamento estruturado, e vários dispositivos podem ser conectados através de hubs, criando sub-redes que evitam a colisão de dados.

Uma rede de dados doméstica deveria ser projetada com todos os pontos de acesso distribuídos entre os aparelhos e pontos de conexão à internet. Talvez a estrutura fique pouco flexível, pois para cada aparelho novo, será necessário instalar um novo ponto de acesso, talvez seja necessário instalar Hubs ou Switches em cada sala. Assim, todos os aparelhos poderiam ser controlados usando o protocolo TCP/IP, disponibilizando seus dados em páginas web.

3.3.6. O Home Plug

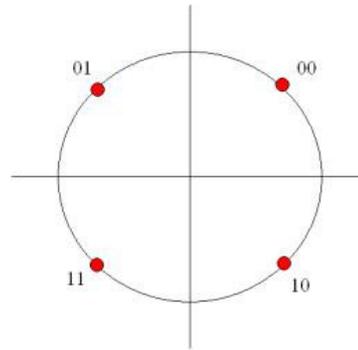
Tendo em vista as limitações de pontos de acesso que o Ethernet possui, pode-se usar uma rede IP de maior velocidade sobre a rede elétrica para controlar os mecanismos de dentro da casa.

A HomePlug Power Alliance [10] é um grupo de pesquisas que tem estudado esse problema desde 2000. Em 2001 eles lançaram o HomePlug 1.0, que permite velocidades de até 14Mbps, como tecnologia padrão para redes *Power Line*, baseando-se na tecnologia *PowerPacket* da Intellon. Taxas de comunicação mais altas são disponíveis nas redes de transmissão, que oferecem um meio melhor, por operarem com tensões mais altas, o que permite sinais mais fortes.

A aliança continua a pesquisar maneiras de se acelerar a transmissão numa residência. No momento, a Intellon oferece uma solução para acelerar o HomePlug 1.0, o PHY INT5500, chamado Turbo Power Line Chip Set. Com esse PHY refinado, alcançam-se taxas de até 85Mbps, enquanto a equipe do HomePlug está desenvolvendo sua versão 2, com velocidades teóricas de até 200Mbps.

3.3.6.1. Funcionamento

O HomePlug 1.0 se comunica na rede através de um sinal modulado em frequências ortogonais (OFDM), dividindo o sinal em 84 portadoras diferentes entre 4.5 e 21MHz. A codificação de cada portadora é feita com modulação em fase, caracterizando o Phase Shift Keying (PSK). Por causa das dificuldades apresentadas pelo meio, três modulações são possíveis, adaptando-se à situação do meio: DBPSK ou DQPSK (utilizando opostos, posições 00 e 11 ou 01 e 10 na figura 3.3.16). Quando está transmitindo um pacote de broadcast ou está se adaptando a uma rede, o HomePlug utiliza uma modulação muito mais lenta, chamada ROBO, onde os bits são modulados com o DBPSK e repetindo cada bit quatro vezes, para garantir sua entrega.



QPSK Signal Constellation

**Figura 3.3.16 – QPSK
(Digitalradiotech)**

O HomePlug foi feito para operar encapsulando redes Ethernet. Mesmo seu sistema de endereçamento é compatível, usando um endereçamento “HomePlug MAC”, idêntico ao Ethernet.

Para evitar colisões entre transmissões de pacotes, usa-se o carrier sense *multiple access with collision avoidance* (CSMA/CA), o que demonstra a preocupação dos desenvolvedores em manter o canal de comunicação mais livre possível. Os transmissores possuem um algoritmo de backoff e podem ser interrompidos caso haja frames de maior prioridade a serem transmitidos. São definidas quatro prioridades de pacotes: Voz, Vídeo, Transferência e Best Effort.

O protocolo possui dois tipos de Frame, o Long Frame e o Short Frame. O Long Frame é composto por um Start of Frame Delimiter, um Payload e um End of Frame Delimiter (figura 3.3.17).

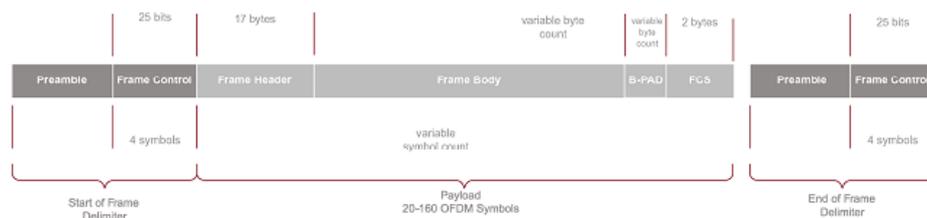


Figure 1: Long Frame Format

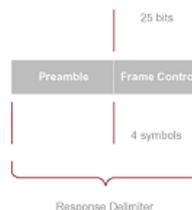


Figure 2: Short Frame Format

**Figura 3.3.17 – Frames do HomePlug
(HomePlug, 2002)**

O SoF é composto por um preâmbulo e 25 bits de *Frame Control*. Ele contém dados sobre o tipo e tamanho do pacote, prioridade e informações sobre qual modulação estará sendo usada para melhor se adaptar a rede.

O *payload* possui um tamanho indicado no *Frame Control*, entre 20 e 160 símbolos OFDM. Contém 17 bytes de *Frame Header*, um *payload* variável e 2 bytes de *Frame Check Sequence*.

Após o envio do *payload*, o transmissor envia o *EoF Delimiter*, que consiste em outro preâmbulo e mais um *Frame Control*, esse contendo apenas informações sobre prioridades do frame enviado.

O *Short Frame* se consiste no preâmbulo e mais um *Frame Control*, funciona como Ack do controle de fluxo *Stop and Wait automatic repeat request* (ARQ), que é utilizado pelo protocolo.

3.3.6.2. Observações

O HomePlug 1.0 é um padrão muito robusto se comparado com todos os PLCs anteriores, possuindo até mesmo suporte à criptografia. Mesmo assim, ele não consegue apresentar velocidades de transmissão constantes. Dependendo da codificação utilizada, sua velocidade flutua entre 1,2Mbps (usando a ROBO), a 14 Mbps (DQPSK 3/4), como vemos em HomePlug (2002).

O HomePlug poderia substituir um sistema Ethernet, tendo a vantagem de não precisar instalar um cabeamento extra pela casa. Ele poderia ser uma solução para a automação baseada em IP, exceto pelo preço necessário para cada transmissor, quase sempre superior a US\$ 60,00 para os transmissores mais simples.

3.3.7. O Wi-Fi

As redes 802.11 tem se tornado muito comuns para o acesso sem fios à internet. Além de ser relativamente barato, um roteador wireless poderia se comunicar com grande facilidade com os aparelhos de automação que funcionem sobre IP, além de proporcionar acesso à rede em qualquer lugar da casa. Os Wi-fi também podem ser usados como um complemento para uma rede de dados Ethernet, pois multiplicam os pontos de acesso sem a necessidade de mais instalações físicas.

As redes 802.11g, que serão tratadas nesse trabalho, operam sobre a faixa de rádio de 2,4 Ghz, com uma taxa de dados de até 54Mbps. Elas tem um alcance *indoor* médio de 32 metros, dependendo das antenas dos emissores e do ambiente, pois as paredes podem atenuar ou refletir os sinais.

3.3.7.1. Funcionamento

Uma rede Wi-Fi consiste em 3 tipos de aparelho: Os *Access Points* (AP), as estações que transmitem o sinal de wireless, os *Distribution Systems* (DS), que conectam os APs e outras redes, e as *Stations* (STA), os usuários da rede.

Os dados são transmitidos via codificação OFDM, com sub-portadoras codificando seus dados em QPSK, para velocidades acima de 6Mbps, o que garante um nível muito alto de resistência à ruídos.

O frame Wi-Fi possui um tamanho que varia entre 34 e 2336 bytes, sendo seguido de um *payload* de até 2312 bytes, veja na figura abaixo:



Figura 3.3.18 – Frame Wi-Fi
(Microsoft)

Os primeiros 2 bytes formam o *Frame Control* (Figura 3.3.19), que contém identificadores de versão de protocolo, tipo e subtipo de frame, identificação da direção do frame (se vai para o DS ou está vindo dele), identificações ao receptor se o payload está fragmentado, se há mais dados a seguir e se os dados do payload devem ser ordenados, e um identificador de que os dados estão encriptados.



Figura 3.3.19 – Frame Control Field
(Microsoft)

2 bytes de Duration/ID, que identificam o tempo necessário para receber a próxima transmissão.

Um total de 4 endereços MAC, que podem ser usados para identificar o destino, a fonte, a rede em que os dados estão sendo transmitidos, ou o próximo Hop (STA que pode retransmitir o frame para o destino).

2 bytes de controle de sequência. Os primeiros 12 bits identificam uma sequência de até 4095 frames e os outros 4 bits são utilizados identificar a sequência caso a frame seja fragmentada.

4 bytes de *Frame Check Sequence*, que serve para checagem de erros no frame através de um CRC.

A arquitetura da rede Wi-fi a ser estudada é chamada de modo infraestrutura: vários pontos de acesso, ligados entre si por uma rede Cat5, que estarão distribuídos na residência. Cada aparelho deve se conectar através de um access point à rede.

3.3.7.2. Observações

É necessário verificar a estabilidade e o alcance desse tipo de rede, deve-se ter um acesso de qualidade à rede em qualquer lugar da casa, o que pode exigir o posicionamento de retransmissores, além de observar se o funcionamento de alguns aparelhos não pode comprometer o canal (micro-ondas, aparelhos Bluetooth, etc.). Outro problema também é o grande consumo de energia elétrica dos emissores Wi-fi, o que exigiria que os sensores e atuadores da casa sejam ligados na rede elétrica. Essa tecnologia não parece ser adequada para a automação dos aparelhos, sendo útil apenas para transmissão de dados pela casa.

3.3.8. O HomePNA

A *Home Phoneline Networking Alliance* (HomePNA ou HPNA) [11] oferece algumas soluções de conexão rápida à internet utilizando cabos que normalmente são instalados nas residências: telefônicos e coaxiais.

3.3.8.1. Funcionamento

A versão 3.1 do HomePNA (ou standard ITU G.9954) foi desenvolvida para trabalhar sobre os dois tipos de cabos, numa faixa de frequência que não interfira com os dados. Usa-se uma modulação *Quadrature Amplitude Modulation* (QAM), mas com diversas constelações diferentes e duas bandas de comunicação (a 32 e 16MHz), para que a rede se adapte de acordo com o momento.

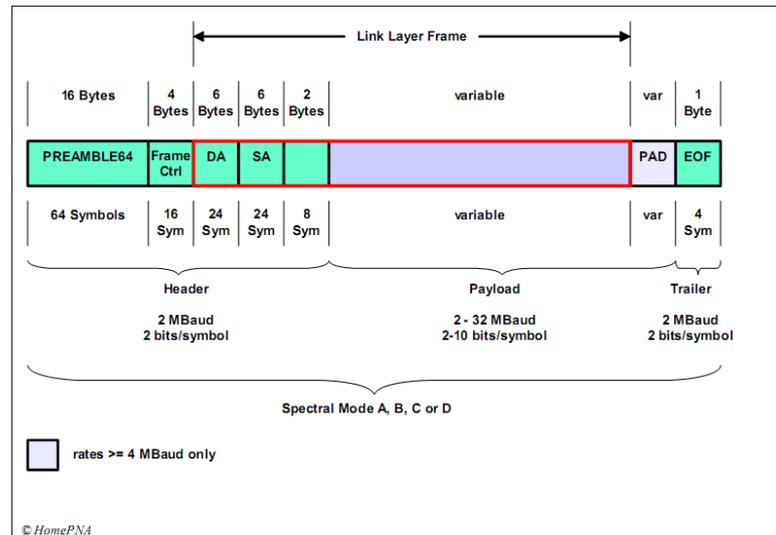


Figura 3.3.20 – Frame do HomePNA

(Verbin, 2009)

O Frame do HomePNA (Figura 3.3.20) é muito similar ao frame Ethernet, contendo dois endereços de 6 bits, e 4 bytes de controle do frame (com o tamanho do pacote, prioridade e dados de configuração da transmissão).

O sistema é Half-duplex e oferece suporte à transmissão em bursts através de um processo chamado agregação de pacotes, encapsulando mais de um pacote num mesmo frame, até o tamanho máximo do payload ser atingido (32MBauds). O controle de erros é feito através de um protocolo *Automatic Repeat Request* (ARQ), e um CRC 16 (considerado payload). As velocidades alcançadas variam de 4 a 320 Mbps, dependendo da modulação utilizada, uma vez que ele tenta se adaptar de acordo com o ruído.

3.3.8.2. Observações

Mesmo com a constante difusão das tecnologias de telefonia móvel, a maioria das casas ainda possui instalações telefônicas convencionais. Esses cabos podem ser menos suscetíveis à ruídos e, pela característica do telefone, formam um único barramento ao redor da casa, sendo uma estrutura perfeita para se criar uma rede de dados, ao contrário do que pode acontecer com o PLC, que precisa de pontes de comunicação entre fases.

Os cabos coaxiais são menos comuns, geralmente utilizados para televisão. Eles não formam uma estrutura muito adaptável, pois precisam ser cortados para instalar outros pontos de acesso. Mesmo assim, esses cabos são muito bons para comunicação de dados, pois são blindados e não possuem tanta atenuação.

Oferecendo uma banda de até 320 Mbps, com um alcance de até 300 metros, numa área de até 900m², o Home PNA é uma tecnologia promissora. Com essa velocidade, pode-se conectar computadores à internet e repassar os sinais de câmeras de vídeo diretamente para a

central sem precisarmos de outras redes ou cabos. Ele também é compatível com o Ethernet, o que o torna muito prático.

3.3.9. O FireWire

O IEE 1394 (FireWire) é uma interface para comunicação em tempo real e a altas velocidades, lançado pela Apple em 1995. Sua proposta era para a comunicação com sistemas de áudio e vídeo digitais, ou para discos externos.

3.3.9.1. Funcionamento

As duas versões principais do FireWire usam diferentes técnicas de codificação dos dados. O FireWire 400 (IEEE 1394a) usa uma técnica conhecida como *Data Strobe*, onde os dados são transmitidos juntamente com um sinal (*Strobe*) que serve para se recuperar o clock da transmissão, fazendo-se uma função XOR entre os dois. Existem dois cabos disponíveis para essa versão, o de 4 pinos (dois pares para os dados e dois pares para o strobe) e o de 6 pinos (com um par extra para alimentação, fornecendo até 8 watts de potência com tensões entre 25 e 30 volts). Cada cabo pode ter até 4,5 metros de comprimento, o que dificulta o uso dessa técnica como base de um sistema residencial (seria necessário instalar várias repetidoras para se alcançar um comprimento prático). As velocidades de transmissão são de 100, 200 e 400 Mbp/s, numa comunicação *half-duplex*.

A transmissão de dados no FireWire 800 (IEEE 1394b) é feita usando uma sinalização digital NRZ, com codificação 8B/10B (codificando 8 bits em 10 para controle de erros), e usa uma função de cálculo de disparidade, que tenta manter um número de 1's igual ao de 0's, evitando flutuações de tensão no fio. Isso permite taxas de comunicação mais altas, de até 783,432 Mbps sobre o seu cabo padrão de 9 pinos, com dois pares para transmissão de dados, dois para alimentação e dois fios de aterramento, melhorando a qualidade da transmissão. Esse cabo forma um canal full-duplex, com um alcance de até 100 metros, fornecendo 45 Watts em 30 volts para alimentação de aparelhos. Ele também pode operar sobre cabos Cat. 5 e sobre redes óticas (chegando a até 3,2 Gbps nesse último meio).

Os dispositivos são conectados numa arquitetura de árvore, com suporte até 63 nodos, e possuem funcionalidades *plug-and-play*, podendo ser desconectados enquanto funcionam. Os aparelhos FireWire possuem até no próprio barramento, podendo desconsiderar alimentação na tomada. Os dados são passados diretamente considerando-se uma região de memória hipotética de 256 terabytes, através de um identificador de 64 bits:

- 10 bits de identificação de barramento.
- 6 bits para identificação de aparelho (máximo de 63).
- 48 bits para endereçamento dos dados enviados, indicando uma região na memória do dispositivo.

O tamanho dos pacotes transmitidos depende da versão do protocolo, podendo chegar a 4096 bytes no 800, com CRC 32 para correção de erros.

3.3.9.2. Observações

O FireWire é um protocolo adequado a conexão de dispositivos. Seu principal uso seria para conectar câmeras rápidas e de alta qualidade. Infelizmente, o alcance dos cabos é de 4,5 metros para o conector de 9 pinos e 100 metros para a fibra ótica, o que pode impossibilitar o uso do FireWire na maioria das instalações.

Existe a possibilidade de utilizar o FireWire para se criar uma rede IPV4 (segundo a RFC 2734) mais rápida que o Gigabit-Ethernet. Ele pode ser usado para fazer conexões Ad-Hoc, sem o uso de concentradores, permitindo redes ponto-a-ponto apenas. Uma limitação é que só são permitidos 16 retransmissões de cada pacote, o que diminui o tamanho máximo da rede factível.

Pensa-se, também, que ele pode ser usado para se interligar o controlador da casa com sub-controladoras, terminais de cada cômodo que se comunicam com os aparelhos através de outros protocolos. Há um limite de 63 terminais que podem ser criados, o que não é um problema, pois a maioria das casas não possui tantos cômodos.

3.3.10. O EnOcean

A EnOcean [12] é uma empresa fundada em 2001 por um grupo de engenheiros da Siemens, e seu foco no mercado é o desenvolvimento de circuitos eletrônicos de comunicação wireless de consumo mínimo e com suporte a conversão de energia (geradores piezoelétricos, células solares, conversores térmicos, etc.). Sua atuação no mercado se dá através da venda de seus transmissores para outras empresas que montam módulos de controle e sensores diversos. Seus sistemas são projetados para não precisarem de baterias e serem altamente confiáveis, precisando de pouca ou nenhuma manutenção.

3.3.10.1. Funcionamento

Os sinais de rádio utilizam duas bandas de frequência: 325 e 868 Mhz, dependendo de onde for vendido (o primeiro na Europa e o segundo na América). Eles possuem um alcance de até 30 metros e uma taxa de 125Kbps. Cada pacote de 14 bytes é enviado 3 vezes na rede, com um atraso randomizado, para evitar colisões. Cada aparelho é identificado por um número único de 32 bits, e possui um “profile”, uma estrutura de comunicação específica para sua aplicação.

3.3.10.2. Observações

A tecnologia da EnOcean é fechada, e uma rede de controle tem que ser projetada para atender as especificações do usuário, cada sala deve possuir uma central que se comunica com o controlador usando outros barramentos. Seus aparelhos compreendem uma grande variedade de serviços, incluindo controle de iluminação, detectores de presença, atuadores para janelas e persianas, controle de ar-condicionado, sensores de umidade e temperatura. Tem-se observado que uma série de empresas estão adotando o padrão em seus produtos, prevendo-se um grande crescimento dessa tecnologia.

3.3.11. O Bluetooth

O Bluetooth foi desenvolvido para eliminar os fios de conexão com os periféricos do computador, criando o conceito de PANs, ou redes pessoais, e apresentou um grande sucesso comercial desde sua definição. Essas redes seriam a interligação dos aparelhos de um único usuário a uma central, preferencialmente para ligar periféricos ou fazer transferência de dados para serem carregados através de PDAs ou celulares.

Ele foi desenvolvido pela Sony Ericsson em 1994, como uma alternativa para cabos RS-232, e desde 1998 é controlado por uma fundação, a Bluetooth Special Interest Group.

3.3.11.1. Funcionamento

O Bluetooth funciona em rádios sobre a banda ISM, a 2,4 Ghz, codificando suas transmissões com FHSS, formando um total de 79 canais disponíveis, trocados a cada 625 µs.

Isso permite que ele coexista com outras redes na mesma faixa. Os dados são passados através da codificação GFSK atingindo até 1Mbps. A partir da versão 2.0 do protocolo, foi disponibilizado o Extended Data Rate, que pode usar a modulação $\pi/4$ -DQPSK (uma variação da QPSK que usa duas constelações idênticas rotacionadas 45° , diminuindo a mudança de fase necessária), para alcançar velocidades de 2Mbps. Essa extensão também pode usar a 8DPSK (uma constelação com 8 símbolos, codificando 3 bits), atingindo até 3Mbps.

Os transmissores Bluetooth são divididos em três categorias de alcance, para que o custo do transmissor esteja ajustado de acordo com a aplicação

- Classe 1: Alcance de 100 metros.
- Classe 2: Alcance de 10 metros.
- Classe 3: Alcance de 1 metro.

A rede Bluetooth tem uma arquitetura em estrela, com até 7 dispositivos sendo controlados por uma central. Eles intercalam suas transmissões com a central em slots de 625 μ s, podendo transmitir continuamente por 1, 3 ou 5 intervalos. A velocidade mínima da conexão fica em 172Kbps, e a máxima em 721 Kbps. Cada aparelho possui uma identificação única (global ID) de 48 bits, um padrão de sequenciamento de frequências e o clock do controlador (recebidos ao se conectar).

Os aparelhos Bluetooth são categorizados em perfis, categorias de aparelhos diferentes, como sistemas de vídeo, de áudio, comunicação para impressora, etc. Esses definem quais comandos estarão disponíveis para a comunicação com os aparelhos, definindo também qual será o protocolo utilizado.

3.3.11.2. *Observações*

Uma central Bluetooth pode se conectar com até 7 aparelhos simultaneamente, o que não é adequado para uma central de automação residencial. A estrutura do Bluetooth geraria uma rede centralizada, pois todos os dispositivos estariam ligados com o mesmo controlador, e precisaria talvez de roteadores instalados para garantir sua conexão. A melhor aplicação para o Bluetooth parece ser para interfaces com os usuários.

3.3.12. O ZigBee

O ZigBee foi um projeto da Philips, que continuou a ser desenvolvido pela ZigBee Alliance, utilizando o IEEE 802.15.4 como camada de MAC e PHY. Ele foi lançado em 2004 como uma solução para aplicações de baixo custo e consumo, em diversas aplicações industriais, comerciais e residenciais, principalmente para aplicação em redes de malha para sensores. Por essa razão, uma rede ZigBee pode ser muito adequada para uma residência, pois permite a instalação de sensores e controladores dispersos pela casa, aumentando a inteligência do controle. O seu preço baixo o aponta como uma ótima solução para sistemas de automação residencial..

3.3.12.1. *Funcionamento*

O ZigBee se comunica em três bandas ISM usando uma modulação DSSS, onde o sinal modulado em fase é espalhado por uma faixa disponível, multiplicando-o por um outro sinal pseudo-randômico ("chip sequence"). O resultado é um sinal semelhante a um ruído, que pode ser decodificado sabendo-se qual o sinal pseudo-randômico aplicado. Usando-se ruídos ortogonais, possibilita-se a construção de vários canais de comunicação, cujo acesso é controlado via CSMA/CD.

As velocidades atingidas são de 20Kbps por canal para 868Mhz (1 canal apenas) e 40Kbps para 915Mhz (até 10 canais), usando uma codificação BPSK, e de 250 Kbps para 2,4Ghz, usando-se uma variante do QPSK, o Orthogonal QPSK, onde somente um dos bits é alternado por vez, evitando que o sinal cruze o zero (com disponibilização de 16 canais).

O alcance para o rádio é entre 10 e 70 metros, cada transmissor deve consumir no máximo 1mW. Para poupar ainda mais energia, é implementado um sistema de modo *sleep*, que desliga o transmissor temporariamente (o ZigBee é capaz de entrar nesse modo em menos de 15 ms). O padrão especifica três tipos de nodos para uma rede ZigBee:

- Nodos master, nodos de controle para a rede.
- Nodos de roteamento, de encaminhamento de pacotes.
- Nodos de aplicação, os sistemas controlados.

Usando esses nodos, se constroem redes com topologia em árvore, estrela ou redes mesh (onde essa diferenciação não é utilizada). Por uma questão de economia, alguns aparelhos possuem funcionalidades reduzidas, só podendo se conectar a redes de topologia estrela.

Cada aparelho ZigBee possui um endereço MAC de 64 bits, e recebe um de 16 bits quando se associa à rede construída (permitindo redes de até 64.000 nodos). A tabela 3.3.4 demonstra a estrutura do frame ZigBee a nível físico.

Tabela 3.3.4: Frame ZigBee

Preâmbulo	Start of Packet Delimiter	HEADER	PSDU (PHY service data unit)
32 bits	8 bits, indica tipo de pacote	8 bits, indica tamanho da PSDU	Até 127 bytes de dados

Existem quatro tipos de frames MAC que o ZigBee carrega, indicados no Start of Packet Delimiter.

- Data Frame: Pacotes normais de dados.
- Ack Frame: Usado para controle de fluxo.
- MAC command frame: Para criação das redes, configuração dos dispositivos, requisição de tempo de transmissão e para roteamento.
- Beacon Frame: Frame especial para controladores.

O cabeçalho MAC tem um tamanho variável, e carrega o tanto um número de sequência do pacote como múltiplos endereços de destino (para mensagens multicast).

Caso haja um coordenador na rede, os frames Beacon são usados para indicar qual o aparelho que tem o direito de transmitir em um determinado momento (Content Access Period). Super-frames, a transmissão contínua de um único aparelho, só podem ser feitos caso existe um coordenador, que irá reservar o período para o aparelho. Caso não haja o Beacon, o CSMA/CD é usado para fazer as transmissões, garantindo-se uma latência de até 30ms.

Redes mesh precisam de aparelhos mais complexos, que tenham memória suficiente para manter uma tabela de roteamento, mas são mais simples de serem instaladas para automação residencial, pois não é necessário planejar a sua colocação de acordo com a arquitetura da rede, precisando apenas que haja algum aparelho próximo para fechar a rede.

3.3.12.2. Observações

As taxas de transmissão do ZigBee podem ser baixas, mas os sensores e sistemas de controle de classe residencial não precisam de um *data rate* alto. Além disso, todos os transmissores são projetados para trabalhar com baterias por um mínimo de dois anos, o que diminuiria a necessidade de conexões elétricas novas na casa.

O ZigBee é muito similar ao Z-Wave, e um grande número de empresas estão usando essa tecnologia (vemos um caso na control4, **seção 4.3**). A figura 3.3.21, a seguir, resume a comparação entre os dois, feita por Galeev, 2002. Note que o Z-wave possui menos canais e pode se conectar a menos nodos. Mesmo assim, ele domina o mercado de automação residencial, por ter uma maior disponibilidade de produtos.

Z-Wave vs. ZigBee

RF/ PHY Layer	Z-Wave from Zensys		IEEE 802.15.4/ZigBee		
	U.S.	U.E.	U.S.	U.E.	U.S./U.E.
Operation Frequency, (MHz)	908	860	908	860	2400
Number of channels	1	1	10	1	16
Max. data rate (Kbit)	40	40	40	20	250
Modulation	FSK, GFSK, narrowband		BPSK/BPSK/O-QPSK, DSSS		
Avr. distance between nodes (free space)	30m/100feet		30m/100feet		
Addressing / MAC Layer	Z-Wave from Zensys		IEEE 802.15.4/ZigBee		
Nodes per network	Up to 232 nodes		Up to 64K, depending on the topology		
Node's address	Assigned by primary controller		64bits IEEE address, optional short address assigned by coordinator		
Media Access Algorithm	Random back off		CSMA – CA		
Network	Z-Wave from Zensys		IEEE 802.15.4/ZigBee		
Topology	Mesh		Star, mesh, tree		
Main device types	Controllers and slaves		Coordinator, router, edge devices		
Node to node retransmission	Up to 4 hops		32 hops, depending on latency req.		
Routing principle	Source routing		Tree routing, mesh routing		
Security/encryption	Yes		Yes		
Applications / Logistics	Z-Wave from Zensys		IEEE 802.15.4/ZigBee		
Target application(s)	Residential lighting and automation		General application of automation, sensing and control for industry, commercial and residential buildings		
Node functionality	Supports multiple command classes		Supports multiple application profiles		
Hosting requirements	8051@16MHz, 32K/2K		8bits MCU@16MHz, 32K/2K		
Protocol's Logistic	Proprietary		Standard		
IC suppliers	Single source, Zensys		Chipcon, Freescale, ZMD, etc.		
Protocol stack suppliers	Single source, Zensys		Chipcon, Ember, etc.		
Integrated Modules	Single source, Zensys		L.S. Research, MaxStream, etc.		
Target price upon acceptance	< \$2		< \$3		

Table 1

Figura 3.3.21: Comparação ZigBee vs Z-WAVE

(Galeev, 2003)

3.3.13. Infravermelho

Os sistemas de comunicação infravermelho tem um curtíssimo alcance, e são mais utilizados para enviar comandos de controle remoto para os aparelhos. Houve uma época que elas foram mais comuns em PDAs e videogames, até começarem a ser substituídos por tecnologias wireless, como o Bluetooth.

A IrDA (Infrared Data Association) foi fundada em 1993 para definir padrões de comunicação para essa tecnologia. Foram criadas uma série de especificações diferentes, do IrCOMM (simula uma porta serial) ao IrLAN (para criação de uma LAN TCP/IP usando portas infravermelhas). A figura 3.3.22 demonstra a pilha de protocolos existentes:

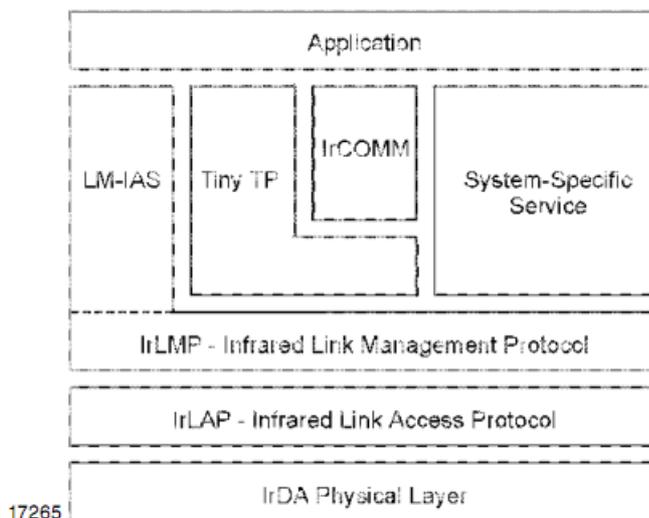


Figure 1. IrDA Protocol Stack

Figura 3.3.22: Pilha de protocolos IrDA
(Vishay, 2006)

3.3.13.1. Funcionamento

Todas as comunicações são seriais em banda base, usando uma codificação RZI com pulsos de 3/16 do tempo de bit. Elas possuem um alcance máximo de 30 centímetros em modo econômico ou de 1 metro em modo normal, e possuem uma tolerância angular de até 15°, podendo se comunicar com perdas em um cone de até 30°. As velocidades alcançadas são variadas, dependendo do módulo de transmissão, estando entre 2,4 Kbps e 1Mbps. A extensão IrSimple aumenta a velocidade da conexão em até 10 vezes, simplesmente atualizando o software de comunicação.

3.3.13.2. Comentários

O controle-remoto infravermelho é uma das interfaces mais comuns nos aparelhos domésticos, e muitas empresas oferecem controles-remoto universais que podem se comunicar com mais de um aparelho, e inclusive possuem módulos de comunicação infravermelho para se conectar a esses sistemas.

Essa é uma tecnologia que requer linha de visão, mas de um baixíssimo custo. Poderia-se utilizar laços de emissores e receptores infravermelhos para substituir os fios em qualquer situação, mas devido ao seu curto alcance, isso se torna quase inviável. O melhor uso para essa tecnologia é transmitir poucos dados entre aparelhos portáteis.

3.4. Outros padrões

Existe uma série de outros padrões de comunicação que poderiam ter sido detalhados no trabalho. Notadamente, o USB e o RS-232 ficaram de fora. Apesar de serem utilizados em alguns sistemas de segurança para conexão com o computador e serem ótimos para comunicação com dispositivos, possuem um alcance muito curto para aplicação a nível residencial, e não são comercializados aparelhos.

Uma série de outros padrões, protocolos e normas específicos para automação residencial também não estão presentes. Eles foram retirados para manter o tamanho do trabalho manejável, primeiramente pelo seu menor sucesso comercial, mas também por terem meios de comunicação redundantes com os padrões estudados ou por tentar oferecer uma solução universal, através de vários meios. A seguir, uma breve lista de tecnologias não contempladas no trabalho:

- BACnet:

O Building Automation and Control Networks, um protocolo que define primitivas para controle de aparelhos e serviços residenciais que opera sobre uma série de padrões físicos (Ethernet, RS-2323, LonWorks, etc.).

- CEBus:

Consumer Electronics Bus, um conjunto de protocolos que operam sobre uma série de diferentes meios físicos, como PLC, infravermelho, rádio-frequência e fibra ótica.

- KNX:

Padrão europeu administrado pela Konnex Association, criado a partir da junção de outros (EHS, BatiBYS e EIB). Disponibilizado para múltiplos meios físicos.

- LonWorks:

Padrão utilizado nos sistemas da Echelon Corporation sobre PLC, rádio, fibra-ótica e cabos de par-trançado.

Essa lista é extensiva e não cobre todos os padrões existentes.

4. USO E COMPARAÇÃO DOS PADRÕES

Neste capítulo, iremos discutir os meios físicos estudados, apontando quais os seus pontos fortes e pontos fracos, arquiteturas para o sistema de controle da casa inteligente e analisar como os padrões poderiam ser utilizados. Em seguida, iremos definir métricas para enquadrar cada padrão.

Usaremos o termo *rede residencial* para especificar a rede típica formada pela conexão da LAN de uma casa com a Internet. Esse acesso normalmente é garantido por um gateway residencial (um modem), e por um ou mais roteadores que distribuem a conexão entre computadores, como na Figura 4.1.

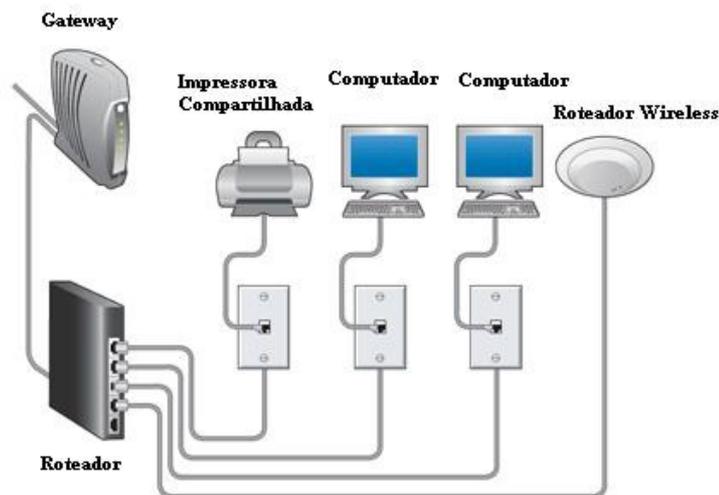


Figura 4.1: Esquema da rede residencial

4.1. Arquiteturas para o sistema de controle da *casa inteligente*

Originalmente, os serviços de automação residencial eram instalações separadas, não possuindo um controlador central, ou “cérebro”. Por exemplo, alarmes teriam uma central de controle, enquanto outros mecanismos faziam o controle da iluminação (*clappers* ou sensores de presença), sem haver compartilhamento de dados entre os dois.

Esses sistemas, que eram independentes, começaram a ser conectados, por questões econômicas (e.g. evitar redundância de sensores) e para se ter uma maior flexibilidade (no exemplo, o sistema de alarmes poderia ligar as luzes da casa para afastar invasores). Cria-se uma “rede de automação”, cuja arquitetura depende de como será mantido o controle das aplicações:

- Descentralizado;
- Centralizado;
- Hierárquico;

Essa rede também pode ser conectada aos meios comunicação disponíveis, como a internet ou o telefone, disponibilizando um acesso remoto ao sistema.

4.1.1. Sistemas descentralizados

A instalação de vários sistemas de automação residencial separados nas casas é cara, oferece serviços limitados e não é a mais adequada para a *casa inteligente*, por não permitir compartilhamento de informações entre aplicações heterogêneas. Mesmo assim, ainda pode-se pensar em redes descentralizadas, onde não há um controlador central e cada aplicação possui autonomia, sem distribuir informações.

Num sistema completamente descentralizado, todas as instalações devem ser planejadas, e há uma flexibilidade limitada. Cada sistema poderá ser expandido e configurado segundo suas próprias regras, o que deixa a manutenção complicada. Vamos tomar como exemplo uma instalação numa casa automatizada: uma central de alarmes, com sensores nas portas e câmeras, um sistema de ar-condicionado central e um sistema de iluminação, com luzes dimmerizadas e sensores de presença, com configuração entre ambientes de iluminação desligamento automático. Cada um desses sistemas será instalado com equipamentos de uma empresa, o que simplifica o projeto, limitando a diversidade de produtos.

A interface com o usuário se torna uma questão importante, diante de tantos sistemas heterogêneos surge a questão de como disponibilizar as informações e o controle. Múltiplos controles-remoto ou múltiplos painéis podem ser uma dor de cabeça. Usar um dialer de temperatura, um painel para o alarme e um controle remoto para iluminação seria pouco prático para os moradores da casa. É necessário preparar um controle-remoto universal. Deve-se atentar aos sistemas que serão instalados, pois alguns não possuem interfaces além do seu painel ou controle remoto. Mesmo assim, muitos produtos podem ser ligados a computadores, sendo possível usar um como terminal para o usuário. A partir daí teremos toda a flexibilidade necessária, podendo-se, por exemplo, instalar um módulo Bluetooth para os moradores controlarem a casa com controle remoto. É importante atentar ao posicionamento desse terminal, pois ele pode estar conectado usando algum protocolo como USB ou RS-232, que tem um comprimento de fio muito limitado.

Sem centralizar as informações e o comando, a configuração dos serviços da casa inteligente é limitada, senão impossível. Não há meios para uma grande autonomia, não teríamos como configurar o sistema de luz para ser ligado caso o alarme detecte alguém. O uso de perfis e a configuração de ambientes podem ser feitos, mas serão dependentes dos comandos dos usuários. Ficará impossível para a casa auxiliar o usuário.

As redes *mesh* (como as do Z-Wave) também podem ser utilizadas para fazer esses sistemas descentralizados. Uma série de sensores e atuadores são espalhados pela casa, gerando uma rede. Depois, cada serviço receberá um controlador próprio, que também fará parte da rede. Ele deve ser configurado para reconhecer os sensores e atuadores relevantes às suas aplicações. De uma forma similar, um painel de controle, que faz a interface com o usuário, será inserido por último, se comunicando com cada um dos controladores da rede. Assim é possível instalar um sistema descentralizado na casa, sem ter que se preocupar em fazer uma interface múltipla.

Nota-se que esses projetos em redes *mesh* podem ficar muito complexos, exigindo um grande conhecimento do sistema da casa antes que se possa fazer alterações tanto nos serviços já disponíveis, quanto na instalação de novos.

4.1.2. Sistemas centralizados

A arquitetura de um sistema completamente centralizado, um computador conectado diretamente a todos os aparelhos de automação (sensores, atuadores, chaves, etc.), tem uma topologia em estrela. O controlador é responsável por todos os serviços do sistema, enviando comandos para os aparelhos e informações para os usuários, de acordo com a sua programação, com as leituras dos sensores e das ordens dos usuários. Normalmente, as aplicações são controladas por chaves de liga-desliga, como da Figura 3.3.3, e os sensores são passivos, sendo consultados por pooling. O grau de controle sobre os aparelhos tende a ser menor, nem sempre haverá como programar funções específicas, por exemplo, com uma chave dessas só é possível ligar a televisão, e não sintonizar canais. Não são oferecidas interfaces específicas para cada marca de eletrodomésticos, e o inverso também não é realidade: a indústria não oferece produtos com interfaces integradas (uma lavadora de roupas com ethernet seriam um produto, no mínimo, curioso). Além disso, os protocolos de comunicação não oferecem suporte a esse tipo de controle, seria impossível tentar prever uma lista de comandos para todo o tipo de serviço que a casa irá ter. Por ser mais simples e barata, é a arquitetura mais comum para hobbistas.

Para se fazer essa “rede de automação”, é necessário conectar todos os dispositivos de controle à central. Pode-se usar virtualmente qualquer padrão de comunicação, o problema acaba sendo as conexões físicas, é necessário uma grande obra para se passar a fiação pelos aparelhos. Costuma-se fazer a comunicação via PLC ou de rádio, geralmente mais baratos e com acesso a toda a casa sem precisar de outras instalações. Protocolos mais rápidos são, normalmente, desnecessários. Os eletrodomésticos não costumam ser projetados com interfaces de rede, e mesmo assim não costumam apresentar uma grande quantidade de informações (Wacks, 2002).

Não é incomum utilizar técnicas diferentes em conjunto, dependendo da localização dos aparelhos. Pode-se controlar a iluminação via PLC enquanto se comunica com sensores via rádio, e se usa um barramento FireWire para acessar câmeras de segurança, enquanto se liga o controlador a uma rede de dados, que compartilha essas informações via internet com o computador.

Serviços mais complexos podem ser impossíveis de se controlar com essas redes, podendo haver a necessidade de usar técnicas diferentes de comunicação. Eisenpeter (2004) desenvolve uma rede de automação utilizando um computador pessoal para aplicações de produtos X10 e um sistema de segurança proprietário que se comunica através de uma interface própria. O sistema não possui sensores, e o controlador não centraliza as informações, apenas é usado como uma interface de controle.

Vamos usar como exemplo o sistema representado na figura 4.1.1, um controlador de uma pequena casa, para analisar os pontos fortes e fracos da estrutura. Nessa primeira versão, usaremos um sistema UPB para controlar os aparelhos (controle climático, tranca da porta, alarmes e luzes dimmerizadas) e sensores, além de câmeras FireWire para captação de vídeo.

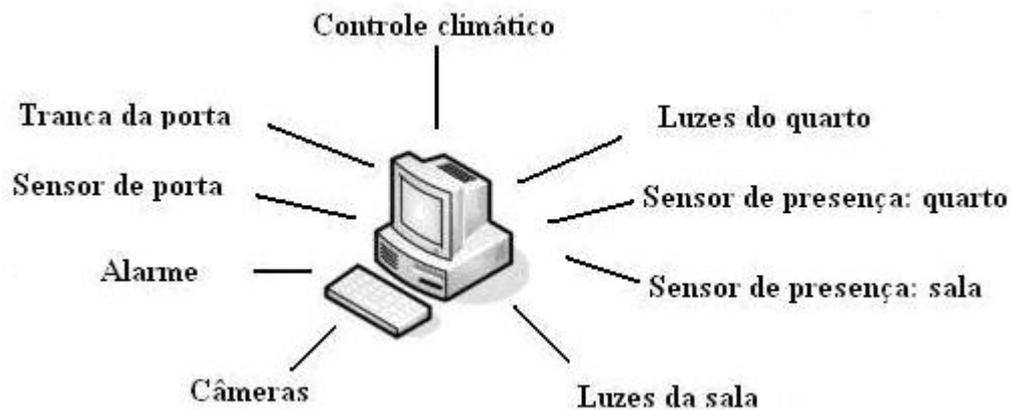


Figura 4.1.1: Exemplo de sistema de controle centralizado

Essa arquitetura oferece uma grande flexibilidade, ficando fácil instalar novos aparelhos ou configurar novos serviços. Pode-se usar sistemas de streaming de vídeo e alarme ligados à internet, mudar as configurações das luzes, implementar um despertador, criar perfis, etc. simplesmente programando-se o cérebro.

Infelizmente há uma série de problemas ao se centralizar toda a informação relevante usando um protocolo tão simples. Sistemas muito centralizados também podem ter problemas de limitação de banda. Se usarmos um protocolo mais lento, como o X10 ou o UPB, é possível que a rede acabe não tendo a resposta rápida o suficiente para mudanças ambientais. Pode-se perder informações importantes. Se os sensores devem ser consultados individualmente por pooling e cada mensagem da rede tem um grande delay (o X10 demora 0,65 segundos pra cada transmissão, assim como o UPB demora 0,1), pode-se perder avisos de sensores de segurança dependendo da quantidade de aparelhos que serão consultados. Caso haja um sistema de interrupção, onde o sensor avisa o controlador, pode haver um congestionamento do meio, principalmente quando há um domínio de colisão apenas (as redes PLCs de automação permitem um transmissor por vez).

Se quisermos manter uma arquitetura centralizada com sensoreamento, precisamos mudar o protocolo. Como já foi comentado, padrões mais complexos muitas vezes não possuem produtos para aplicações mais simples. Sistemas mais rápidos como o Z-Wave, ZigBee e o Insteon, aparecem como uma solução para um sistema de protocolo único.

Mesmo assim, com uma grande quantidade de sistemas instalados, será necessário conhecimento de todos os aparelhos para se fazer qualquer alteração no sistema. Essa complexidade pode ter um aumento explosivo caso misturemos protocolos diferentes. Devemos nos lembrar que os consumidores muitas vezes não possuem ou não desejam se preocupar com os conhecimentos técnicos, tornando qualquer alteração no sistema difícil. O produto final acaba sendo pouco profissional, prendendo o cliente a uma empresa.

4.1.3. Sistemas hierárquicos

O controlador central não precisa estar conectado a todos os aparelhos para exercer o controle na casa. Podemos abstrair as informações que ele irá utilizar através de “sub-controladores”, responsáveis por manter o controle sobre os serviços individuais, de um modo similar às arquiteturas descentralizadas, com a diferença que haverá um cérebro responsável pela coordenação do sistema inteiro.

Esses sub-controladores operam na fronteira entre duas redes: uma rede de automação (ligada as aplicações) e outra de dados (ligada com a central). Diferentes padrões podem ser usados em cada nível, normalmente se conectando aos aparelhos através de uma rede mais simples, que é fácil de se montar (rede PLC ou de rádio), enquanto conecta-se ao cérebro com uma rede mais rápida, muitas vezes sob o protocolo TCP/IP.

As informações passadas pela rede de dados são variadas, tanto dos serviços quanto da programação dos controladores. Podemos fazer uma alusão a um sistema de ar-condicionado central ligado a três salas e equipado com termostatos digitais precisos. O cérebro pode controlar esse sistema setando uma temperatura individual para cada sala ou ativando perfis dos sub-controladores (definindo quais as características para o ambiente).

O critério para a alocação desses sub-controladores, também é variado. Normalmente, se dá por serviço (central para sistema de luzes, sistema aquecimento, sistema de entretenimento, etc.) ou pela proximidade espacial (sala, corredor, cozinha). Essa divisão acaba se tornando necessária para organizar a instalação e tornar o seu controle mais racional, sem ela até mesmo a interface com o usuário pode ficar prejudicada (Figura 4.1.2). Nem sempre a instalação de múltiplos módulos de controle será interessante ou econômica. Por isso, alguns padrões preveem a divisão dos sistemas instalados na casa em sub-sistemas de um modo virtual, através da programação do controlador central.

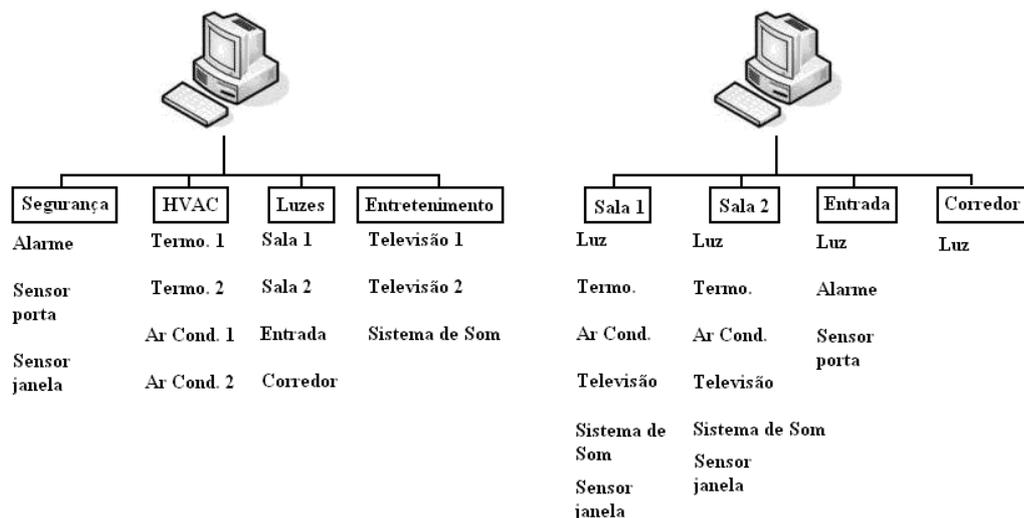
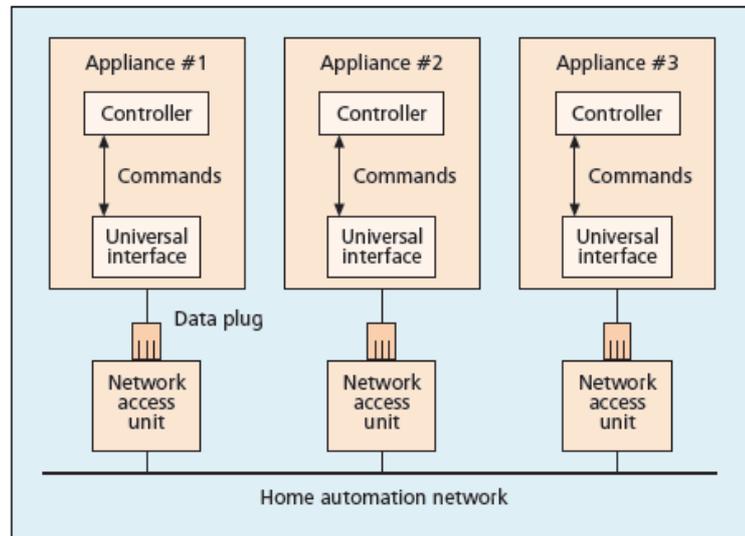


Figura 4.1.2: Exemplo de organização de hierarquias, por sistema e por sala

Alguns padrões de comunicação para domótica se baseiam na construção dessas hierarquias. Podemos ver uma descrição em (Wacks, (2002) & Wacks (2003)), ao explicitar o projeto HES (Home Electronic System) da ISO/IEC, um projeto para a definição de padrões internacionais para uma arquitetura de sistemas de automação residencial universal. Eles esperam reunir os padrões de automação mais comuns para que o usuário possa usar diversos produtos em sua casa. O sistema continua a se desenvolver e, apesar de seu progresso, ainda não alcançou um consenso (Wacks, 2009). A Figura 4.1.3 ilustra sistema HES:



■ Figure 3. *Architecture of the Home Electronic System.*

Figura 4.1.3: Arquitetura de de sistemas de automação residencial (WACKS, 2002)

O HES definirá três sistemas:

- Uma interface universal:

É capaz de traduzir os sinais de uma série de padrões comuns de automação residencial em uma linguagem de comando, abstraída dos comandos normalmente utilizados em sistemas domésticos.

- Uma unidade de acesso à rede:

Traduz a linguagem de comandos para um protocolo comum, utilizado para fazer uma rede de automação, que liga os aparelhos a um controlador central.

- O HomeGate:

Um gateway que pode se conectar diretamente à internet ou à rede doméstica. Ele controla a rede através de um firewall, limitando o acesso às aplicações.

O controle dessa rede de automação é feito através de um computador conectado via Homegate. Assim a definição da interface fica facilitada, bastando configurá-la no computador de controle.

4.2. Interface com o usuário

Interfaces com o usuário devem ser ligadas na nossa rede de automação, tanto por um terminal de computador, quanto um painel interativo, controle remoto ou um programa que utilizado em outros aparelhos. Como vimos, essa ponte com o usuário deve ser feita com o controlador mais importante da rede de automação.

A maneira mais simples de se controlar a casa é através de uma interface direta com o cérebro, através de um terminal com o mesmo. Para se melhorar a estética e tornar o uso mais intuitivo, usam-se um painéis *touchscreen*. Essas soluções tem um problema de serem restritas a determinados locais apenas, o que não é praticidade esperada por muitos clientes. Isso também pode causar problemas para o usuário quando ele precisar ativar algum sistema de segurança, é necessário distribuir alguns botões (botões do pânico) que disparam

mensagens no protocolo em lugares estratégicos, para chamadas de emergência. Como foi comentado, nem todos protocolos possuem suporte para mais de um transmissor.

Controles remoto podem ser mais práticos, por não ficarem restritos a um local apenas, apesar de haver a possibilidade de perdê-lo. Vimos dois meios físicos pra comunicação wireless, o infravermelho e o rádio. O primeiro pode ser ótimo para controlar aparelhos estáticos, como a televisão, mas acaba sendo restritivo para comandar uma casa inteira, por precisar de alinhamento entre o transmissor e o receptor (como vimos nas observações sobre o Irda, **seção 3.3.13**). Outros protocolos de comunicação wireless, como Z-Wave, ZigBee, Insteon e, principalmente, Bluetooth e o Wi-Fi aparecem como soluções para o controle remoto. Esses últimos possui ainda a característica de serem muito utilizados em vários aparelhos pessoais, como PDAs e celulares.

Outras duas interfaces mencionadas foram a por voz e gestos. O processamento de fala e de vídeo são técnicas computacionalmente custosas, e exigem uma grande quantidade de dados, o que impossibilita a utilização de protocolos mais simples. A instalação de câmeras e microfones pela casa precisará utilizar equipamento especializado, provavelmente usando sinais analógicos e uma central para conversão analógico digital, ou um barramento de alta velocidade (FireWire ou Ethernet).

Caso utilizemos o protocolo TCP/IP como comunicação entre os sistemas de automação, existe a possibilidade de ligar os controladores da casa diretamente à rede residencial. Assim, tanto as controladoras quanto as sub-controladoras (se existentes) poderiam ser acessadas como páginas web, pelos aparelhos dessa rede, possibilitando mais uma interface com o usuário (note que é necessário configurar o gateway residencial para evitar acessos externos).

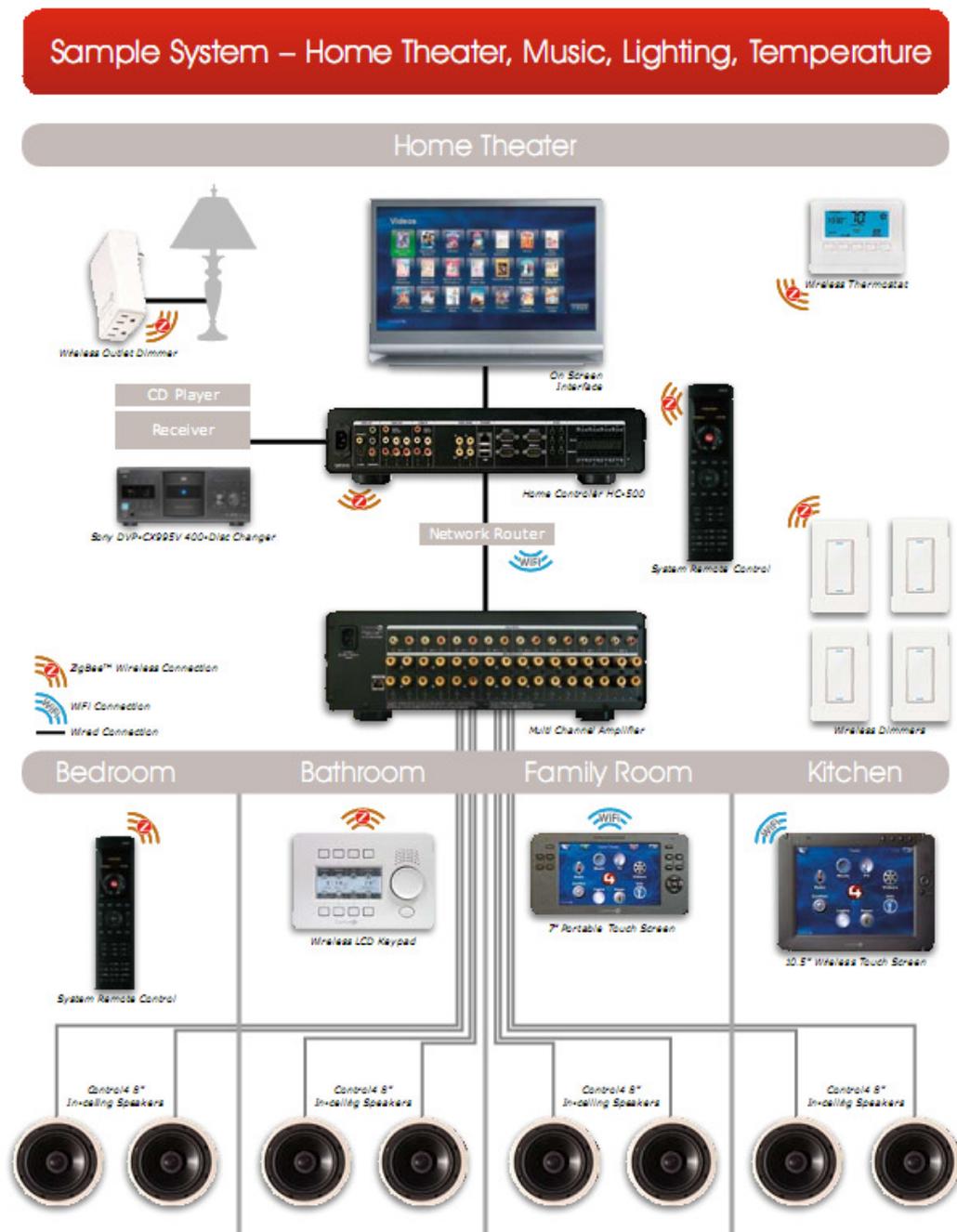
O acesso à distância foi apontado como uma grande tendência. Mesmo alguns sistemas antigos de secretária eletrônica já possuíam técnicas para se consultá-las através do telefone, usando um código sonoro que era reconhecido e respondido com as mensagens pela secretária. A *casa inteligente* precisa de um controle mais complexo, disponibilizando dados visuais, streaming de vídeo, etc. A Internet é um meio universalmente acessível, adequado a esse fim, e pode ser usada para controle da casa através de acesso remoto ou configurado-se um servidor doméstico.

4.3. O Control 4

Como uma análise de uma arquitetura completa, vamos ver os serviços da empresa Control4 [13], que vende produtos de automação residencial de grande sucesso no mercado. Seus produtos se baseiam em controladores para Home-Theater, aos quais foram acrescentadas funcionalidades extras.

A interface com o usuário se dá através de um sistema operacional que oferece 6 tipos de serviço: áudio (sistema de som central), vídeo (ativar home-theater), iluminação (luzes e ambientes), conforto (controle de temperatura), segurança (integra-se ao sistema de segurança instalado) e outros (controla os atuadores, sensores e conexão do sistema com a internet). Ela também divide a casa em aposentos, reconhecendo o local de onde está recebendo o comando e atuando localmente (luz no seu quarto, TV no seu quarto, etc.) .

O controlador central Control4 (como o HC-500 da figura 4.3.1) é conectado com a televisão através das entradas de áudio e vídeo disponíveis, controlando o input recebido (antena, tocador de DVD, entrada HDMI etc.), propiciando uma interface com o usuário. Ele também possui uma série de sistemas de comunicação para se conectar aos serviços disponibilizados: ZigBee, Wi-Fi, Ethernet, portas infravermelhas e interface serial RS-232, além de uma porta USB para receber imagens, músicas e vídeos.



**Figura 4.3.1: Arquitetura exemplo de serviços Control4
(Control4)**

O ZigBee é usado para o controle de iluminação, através de dimmers e chaves liga-desliga e interruptores wireless. Pode-se usar essas mesmas chaves para se controlar outras aplicações na casa, normalmente para portas de garagens, sistemas de irrigação, aquecedores, trancas de porta, etc. O controle de eletrodomésticos não é previsto pelos vendedores, mas poderia ser implementado usando-se as ferramentas de programação do sistema. Sensores de presença e termostatos também são controlados via ZigBee.

Usam-se comunicações Wi-Fi e ethernet para conexões que precisam de maiores taxas, como câmeras IP, caixas de som ou sub-controladoras (normalmente instaladas para ampliar o alcance da rede ou para controle e distribuição de sistemas de som central). O sistema também

possui conexão com a internet para fornecer serviços de acessibilidade remota (câmera e controle) e enviar mensagens.

Ambas interfaces wireless são usadas para comunicação com o usuário via controle remoto (ZigBee) ou Tablet PC, PDAs e smartphones (Wi-Fi). O sistema não oferece comunicação Bluetooth, o que exclui muitos produtos para uso como controle remoto.

Interfaces infravermelho são usadas para se conectar a alguns aparelhos substituindo o controle remoto do aparelho, televisões e sistemas de ar-condicionado. Finalmente, uma comunicação serial é usada para se conectar aos sistemas de alarme, integrando o seu controle no sistema.

A empresa tem conseguido um razoável sucesso, com grande penetração no mercado brasileiro, tendo como um chamariz a sua interface simples e fácil de usar. Seu modelo de negócios se baseia em vender seus equipamentos através de distribuidores autorizados, enquanto se concentra em manter constante sua atualização tecnológica adicionando novos padrões ou criando interfaces novas.

4.4. Caracterização dos padrões

Vendo-se a grande flexibilidade de sistemas de controle para a casa inteligente, e a grande quantidade produtos e padrões oferecidos pelos fabricantes, surge a necessidade de classificar as técnicas de comunicação para selecionar as mais adequadas pra uma instalação. Baseando-se nas necessidades do mercado, nas tendências estudadas e nas arquiteturas vistas, métricas e categorias relevantes para a domótica. Cada padrão estudado no **capítulo 3** será discutido na **seção 4.5**; uma tabela classificatória ocupa a **seção 5.1**.

4.5. Métricas escolhidas

As seguintes métricas foram propostas:

- Custo:

A maior limitação para que a indústria de Automação Residencial seja ampla, ainda é o seu custo. Inicialmente, apenas os mais ricos e interessados compraram esses sistemas; hoje em dia, mesmo com o barateamento da tecnologia, apenas residências de luxo podem arcar com tais custos. Visando manter o trabalho atualizado por mais tempo, o custo a que se refere envolve questões que vão além do custo físico dos equipamentos tecnológicos, englobando também necessidade de obras de infraestrutura para instalação, necessidade de fios extras, possibilidade de escalabilidade, complexidade de transmissores entre outros. Essas informações permitem uma estimativa de custo a qualquer tempo. Como nem todas tecnologias são vendidas no Brasil, os custos médios estão em dólares.

- Consumo:

Pode-se dizer que o sistema de controle da casa só será aceito pelo usuário quando tiver um impacto pequeno, ou até mesmo negativo, sobre sua conta de luz. Normalmente, um escritório não compraria um sistema de controle de ar-condicionado e automação de persianas se isso aumentasse sua conta de luz. Também há um impacto sobre o tamanho dos transmissores e receptores da rede, o que pode impossibilitar a aplicação dessa tecnologia em algumas aplicações (há um espaço limitado em um refrigerador que pode limitar nossas escolhas de se instalar um transmissor).

- Alcance:

As residências possuem dimensões limitadas, e algumas tecnologias terão um alcance mais adequado para ligar os diversos aparelhos da casa. É necessário verificar qual o alcance da tecnologia sem o uso de repetidores, para se ter uma ideia de seu preço-base. Para o caso de tecnologias wireless, precisaremos visualizar qual o impacto das paredes e dos móveis na transmissão.

- Qualidade de Serviço, Taxa de Erros:

O serviço de automação residencial é voltado para dar conforto e segurança para o cliente, logo ele deve ser altamente tolerante a falhas. Os equipamentos não devem ter mal-funcionamento ou recepção de pacotes errados, ou graves acidentes podem ocorrer, o que acabaria por fechar a própria empresa de instalação. A banda de dados para cada aparelho também deve ser relativamente estável, pois os serviços da rede poderão ser utilizados a qualquer hora do dia para transmissão de qualquer tipo de dados. Afinal, seria intolerável que um sistema de segurança não pudesse gravar a movimentação da casa durante todo o dia, ou um sistema de climatização de ambiente que muda constantemente o set-point de sua temperatura.

- Segurança:

É necessário verificar se o padrão de comunicação pode ser acessado por terceiros e se possui meios para garantir a privacidade do usuário e impedir o uso malicioso do sistema instalado na casa. Sistemas de rádio e PLC, em geral, possuem um canal aberto, sendo fácil se conectar à rede.

- Capacidade:

A capacidade de comunicação do meio é extremamente importante, pois um dos pontos centrais da automação é suportar acesso a vários equipamentos diferentes. Mais recentemente, estudos estão sendo feitos sobre a possibilidade de comunicação via voz, o que exigiria uma banda bem alta. Sob a proposta de acesso à internet, uma boa parte da banda deve ser reservada para a conexão.

- Facilidade de instalação:

Uma residência não é um ambiente estático, e se espera que os moradores troquem de aparelhos, façam upgrades e instalem novas tecnologias. Essas instalações devem ser fáceis e baratas de se fazer, pois ninguém deseja fazer obras em suas residências a cada troca de móveis. Sistemas plug and play que possam ser reconhecidos automaticamente pelo controlador são os mais adequados.

- Interoperabilidade:

Diante da diversidade de padrões existentes, da quantidade de produtos para automação e do preço das interfaces entre sistemas, é importante avaliar se o padrão possui alguma característica de interoperabilidade, se ele tem alguma compatibilidade, se é capaz de encapsular outros padrões ou se tem suporte a vários meios físicos.

- Opções de Mercado:

Também é necessário buscar pelos produtos comercializados para os padrões que serão utilizados. Pretende-se colocar na tabela uma indicação se a tecnologia é explorada por alguma indústria e representa um nicho de mercado.

4.5.1. Categorias escolhidas

Baseando-se em taxas de transmissão, definem-se três categorias relevantes para classificar os padrões estudados de acordo com sua possibilidade de uso: para rede de dados, para rede de controle, para rede de sensores e para conexões de interface.

- Rede de dados:

Transmitem dados a alta velocidade, sendo utilizáveis para conectar controladoras entre si ou a câmeras e dispositivos com altas taxas de dados. Devem ser compatíveis com TCP/IP ou poder encapsulá-lo, permitindo a conexão de computadores à internet através dela.

- Rede de controle:

São mais simples, com baixa taxa de transmissão e facilidade de conexão, usadas para transmitir comandos do computador às aplicações. Não é necessário que haja suporte a transmissão bi-direcional.

- Rede de sensores:

Protocolos simples, com baixa taxa de transmissão, com suporte a transmissão bi-direcional.

- Conexões de interfaces:

Redes com suporte a plug and play que reconhecem automaticamente novos transmissores e oferecem a facilidade de conectar e se comunicar a aparelhos diversos dos usuários.

4.6. Classificação dos padrões

Segue a listagem dos padrões, com uma breve discussão sobre quais as suas características e quais são suas possibilidades de uso numa arquitetura de *casa inteligente*.

4.6.1. O X10

O X10 é um protocolo muito simples, que se encaixa perfeitamente na categoria para redes de controle. Ele usa a rede elétrica para transmissão unidirecional entre dois tipos de aparelhos apenas, o transmissor e o receptor, sem nenhum suporte para formar redes mais complexas, como detecção de colisões. Não há suporte direto para o uso de sensores, seria necessário improvisar usando os comandos para verificar o estado das lâmpadas, o que deixaria os sensores limitados a dois estados apenas, e ainda exigiria a programação de um sistema de pooling no controlador.

Os transmissores são relativamente baratos, podendo-se comprar um receptor por menos de US\$ 10,00. O consumo do transmissor é baixo em comparação com o consumo doméstico, sendo o seu consumo médio de 0,4 Watts, de acordo com os relatos de usuários em fóruns. Mesmo assim, esse consumo é alto se considerarmos que sua taxa de transmissão é de apenas 16 bps.

O alcance do X-10 é de 30 metros em teoria, ele é muito suscetível a ruídos e aos aparelhos que estão instalados na rede. Foi comentado que há uma confiabilidade de transmissão de menos de 70% em uma situação ideal. O controle de erros deve ser programado pelo usuário, exigindo que o controlador faça a requisição do status dos aparelhos que ele acabou de comandar. Levando-se em conta que o tempo de transmissão de cada mensagem é de 0,65 segundos, cada comando iria precisar de, no mínimo, 1,3 segundos para

ser confirmado. Não há suporte à criptografia e o acesso à rede de controle deve ser limitado com a instalação de filtros na caixa de disjuntores, mas isso não evita que terceiros possam tentar controlar a casa conhecendo a numeração dos equipamentos e enviando sinais de rádio, caso esteja instalado. Também pode ser necessário instalar filtros em alguns aparelhos, como a televisão, lâmpadas fluorescentes e o refrigerador, para manter o meio mais limpo.

Apesar de seus transmissores serem fáceis de se instalar, bastando ligá-los entre a tomada e o aparelho a ser controlado e setando-lhes uma identificação via *dialers*, cada controlador X-10 deve ser programado de acordo com a instalação da casa, pois ele não possui suporte a plug and play ou reconhecimento automático de aparelhos. Isso atrasa as instalações e torna mais custosa para o usuário. Ele não possui capacidade de interoperabilidade nativa, e sua velocidade de transmissão é tão baixa que mesmo o uso de seus transmissores para encapsular outros protocolos seria impraticável.

O X-10 é um padrão de automação residencial, que serve como um controle remoto para as aplicações que normalmente não os possuem. Esse padrão só pode ser usado para se conectar um controlador com aplicações controladas por liga-desliga, servindo em sistemas centralizados ou como rede de controle para sistemas hierárquicos. Por ser tão antigo, o X-10 está aos poucos sendo substituído por outros protocolos, que já conseguem competir em preço com ele.

4.6.2. O UPB

O UPB é uma evolução do X-10, possuindo uma melhor especificação, com suporte a comunicação em bi-direcional. Isso permite o seu uso tanto para redes de controle quanto para controlar uma rede de sensores, podendo ser usado como protocolo de controle centralizado para uma *casa inteligente*.

O custo do aparelho transmissor UPB é bem mais alto que o do X-10, em torno de US\$70,00. Credita-se esse alto preço pela sua menor difusão no mercado, pela pequena quantidade de empresas que o comercializam e pela necessidade de transmissores com muita precisão.

O seu consumo é ligeiramente maior que o X-10, cerca de 0,6 Watts em média, podendo chegar a até 2 Watts. O seu alcance é limitado pelos aparelhos ligados na rede. Darbee (2006) indica uma vulnerabilidade acentuada aos Triacs instalados nos dimmers das lâmpadas, capazes de cortar a propagação do sinal. Também deve-se verificar se há necessidade de um acoplamento de fase para que os sinais cheguem aonde se deseja.

Cada pacote enviado pela rede UPB funcionando tem uma grande garantia de que chegará, pois há um controle de fluxo instalado. Não há um suporte nativo à criptografia. Também não há uma lista de comandos específicos, cada transmissor sua própria lista de comandos.

A velocidade de transmissão de 240 bps permite o controle de aplicações mínimas. A interface com o usuário só podia ser feita com painéis ligados na rede elétrica, e deve ser simplificada para caber dentro dessa taxa de transmissão. Não havia suporte nativo para controles-remoto antes da PulseWorx ter formado uma parceria com o EnOcean. Os aparelhos UPB são simples de serem instalados, assim como o X-10, requerem a identificação de cada transmissor e o conhecimento de seus comandos.

4.6.3. Z-WAVE

O Z-Wave trabalha unicamente sobre rádios, um meio físico mais flexível que o PLC. Sua arquitetura básica é uma rede mesh com dois tipos diferentes de transmissores conectados, os masters (controladores) e os slaves (aplicações), com a facilidade de não ser necessário um

grande planejamento da sua rede, pois todos os nodos podem agir como roteadores, o que expande o alcance.

Por cerca de US\$ 35,00 por transmissor com um alcance médio de 30 metros em linha de visão. O Z-wave opera numa faixa ISM que é menos usada, o que evita ruídos. A potência de transmissão é na casa das dezenas de miliWatts, custo nulo em comparação com os eletrodomésticos e permite seu uso com pilhas. A confiabilidade do sistema é bem alta, com suporte a controle de fluxo de dados e evitando colisões.

A segurança do Z-wave é limitada para um sistema de rádio, não havendo suporte à criptografia nas versões atuais: o controlador master usa o *Home ID* como forma de identificar se a transmissão de um aparelho se origina na casa ou vem de fora. Um controle remoto pode ser conectado na rede se soubermos esse código, o que nos daria a capacidade de mandar comandos como se fizéssemos parte dela (o controlador *master* identificaria a nova conexão, mas não poderia impedir que as mensagens entrassem na rede). A Zensis, empresa que desenvolve chips Z-Wave, está trabalhando para integrar um sistema de encriptação na futura versão 4 do protocolo.

O Z-Wave não é compatível com nenhum outro protocolo e não é usado para encapsular informações, mas existe uma grande variedade de “pontes”, aparelhos que o ligam à rede elétrica e outras redes de rádio convertendo suas informações para outros protocolos.

A sua instalação e configuração é facilitada com a identificação automática de dispositivos, bastando apertar um botão para que o novo dispositivo seja reconhecido e conectado à rede. Como os aparelhos estão divididos em categorias, com seus comandos listados, o tempo de configuração da rede fica diminuído. Com uma taxa de comunicação de 9.600 Kbps a 40 Kbps, o Z-Wave é uma ótima solução para sistemas de automação residencial, servindo para controle de aplicações, sensoriamento e para conexões de controles remotos, que podem se beneficiar da arquitetura mesh e serem usados em qualquer cômodo da casa. Por sua flexibilidade, ele pode ser usado para implementar qualquer tipo de arquitetura de controle para a casa inteligente, mas, por enquanto, ele não é adequado para sistemas de segurança.

4.6.4. INSTEON

Darbee (2006) compara o INSTEON a várias soluções existentes no mercado, argumentando que o seu funcionamento baseado em peers e o seu uso de rádio e PLC é a arquitetura mais adequada para os sistemas de controle de uma casa. Assim como o Z-Wave, ele é recomendado para controle, sensoriamento e interfaces de controle-remoto.

O custo para um transmissor é de cerca de US\$30,00, levemente mais barato que o Z-Wave por não precisar de microcontroladores com muita memória (ele não mantém tabelas de roteamento). Como nas outras técnicas, o consumo é muito baixo, permitindo transmissores de rádio à bateria.

Seu alcance em rede elétrica é de cerca de 45 metros, e 30 metros via rádio. Assim como o UPB e o Z-Wave, ele possui capacidade de controle de fluxo, detecção de colisão e detecção de erros através de CRC. Além disso, todos os aparelhos atuam em simulcasting, enviando o mesmo o sinal que recebem para reforçá-lo e evitar os problemas comuns de transmissão via PLC. Há uma extensão de comandos com suporte à criptografia, o que pode ser necessário para evitar o envio de pacotes na rede por terceiros. Como nos outros padrões PLC, deve-se instalar um filtro de sinais na caixa de disjuntores para evitar que sinais externos entrem.

O INSTEON é ainda mais rápido de se configurar do que o Z-Wave, precisando-se apenas conectar o aparelho à rede para poder enviar-lhe mensagens. O fabricante recomenda a

utilização dos emissores de rádio para evitar qualquer problema que a rede elétrica possa ter, incluindo transmissão de fases diferentes e aparelhos que eliminem o sinal. Ele também é retro-compatível com o X-10, podendo controlar suas instalações sem precisar de pontes.

4.6.5. Ethernet

O Ethernet é um sistema de comunicação de maior confiabilidade e que alcança boas taxas de transmissão. Sendo ideal para o uso como *backbone* da casa inteligente, ligando os controladores principais de sistemas hierárquicos ou descentralizados. O uso de um sistema IP, principalmente o ethernet, como sistema de comunicação também dá compatibilidade do sistema de ser integrado à rede de dados residencial, podendo se conectar com os computadores pessoais dos moradores.

Ele não oferece uma boa plataforma para controle de aplicação, por ser caro. Os controladores IP vendidos custam mais de US\$ 400,00, e são equipamentos que possuem portas que ligam ou desligam, exigindo a colocação de um relé em cada aparelho controlado.

O custo dos fios, cerca de US\$ 0,50 por metro, não é tão alto, mas como o barramento é ponto a ponto, será necessário colocar Hubs nos cômodos, acrescentando no preço final. Levando-se em conta os custos de mão de obra necessários para se passar um cabo pela casa, o uso de uma rede Ethernet para controlar aplicações parece ser pouco interessante. A instalação de novos equipamentos numa rede Ethernet é automática, mas pode ficar complicada caso seja necessário expandir o número de terminais.

O alcance de cada cabo é de até 100 metros, como se alcançam velocidades superiores a 100 Mbps, pensa-se que ele seria mais adequado para conexão com câmeras IP, conectadas em um computador. O consumo do Ethernet é bem mais elevado do que as outras técnicas, precisando de até 5 Watts para manter um Hub simples de 4 portas (equivalente a uma TV de LCD).

A qualidade de serviço oferecida é excelente em comparação com os outros protocolos vistos, e sua arquitetura é ponto a ponto, sendo difícil receber ataques externos. Poucas empresas trabalham com terminais de automação que se comunicam via Ethernet, mas há várias opções de câmeras IP.

4.6.6. HomePlug

O HomePlug aparece como uma solução para baratear ainda mais instalações de redes de dados na casa, normalmente sendo usado para encapsular redes Ethernet sobre PLC. Ele não é adequado para fazer redes de automação, sensoreamento e controle por ser caro demais. O preço de um transmissor varia de US\$ 20,00 (para até 14Mbps) a US\$ 70,00 (85 Mbps).

Estima-se que ele possua um alcance de até 300 metros sobre o fio da rede elétrica ideal, se desconsiderarmos os equipamentos instalados. É necessário filtrar os sinais para garantir privacidade e evitar invasões da conexão.

Precisa-se apenas comprar modems HomePlug para se conectar um ou mais dispositivos através da rede elétrica, substituindo a grande quantidade de cabos e roteadores Ethernet pela rede elétrica. O HomePlug apresenta uma transmissão não muito confiável, com o problema de sua velocidade não ser constante.

4.6.7. Wi-Fi

O Wi-Fi também é uma solução para conexão de redes de dados usando um outro meio físico, o rádio. O padrão tem alcançado um grande sucesso comercial para aplicações domésticas e de escritório. O custo dos equipamentos Wi-fi varia bastante, mas está baixando

devido a sua popularização, podendo ser encontrado por menos de US\$ 30,00 para um roteador ou US\$ 10,00 para cartões de acesso. O alcance de transmissão depende bastante do emissor e da potência de sua antena, sendo que os roteadores residenciais consomem de 4 a 10 watts e tem um alcance médio de 32 metros.

A configuração da rede Wi-Fi pode ser bem simples, bastando instalar uma base transmissora e configurando uma chave de acesso para a rede. Muitos aparelhos pessoais como celulares, PDAs e Laptops possuem capacidade de comunicação via Wi-Fi, tornando-o um candidato para fazer interfaces com o usuário pela facilidade de se conectar novos aparelhos à rede (o Control4 utiliza essas interfaces).

A banda ISM de 2,4Ghz convive com Bluetooth, telefones sem-fio e alguns serviços de celular, sendo poluída também por diversos aparelhos como o forno de micro-ondas. Apesar do Wi-Fi ser um sistema robusto, com correção de erros e encriptação, ele pode ser vulnerável a ruídos e nem sempre a arquitetura da casa facilitará a recepção da rede.

4.6.8. HomePNA

A Home Phonelling Alliance oferece uma solução de mesmo uso que o HomePlug e o Wi-Fi: a conexão de dispositivos TCP/IP, compatíveis com o ethernet, usando outros meios físicos, no caso linhas de telefone ou cabos coaxiais de televisão (meios muito adequados para a transmissão de dados), através da banda de comunicação disponível que não é utilizada.

O uso do HomePNA é restrito, e ele pode ser oferecido como uma solução individual para instalações em casas onde há redes pelas quais ele se comunica e que podem ser usadas para conectar os controladores da rede.

Seus transmissores são baratos (entre US\$ 10,00 e US\$ 20,00) para a velocidade que podem fornecer (até 320 Mbps). Os sistemas HPNA estão perdendo mercado para roteadores Wireless, mais comuns e práticos, tornando-se difícil encontrar seus produtos.

4.6.9. FireWire

O FireWire, como foi comentado, possui uma taxa de comunicação muito alta (800 Mbps ou superior) e um bom alcance, de até 100 metros. Seu principal uso seria como *backbone* conectando os controladores principais ou para instalação de câmeras digitais. O custo do FireWire é de US\$ 1,00 por metro de cabo (9 pinos) e US\$20,00 para uma placa PCI, sendo necessário apenas configurar os computadores para se comunicar com essa rede. Placas para comunicação com fibra ótica são muito mais caras, custando centenas de dólares.

4.6.10. EnOcean

O EnOcean tem características muito semelhantes ao Z-Wave, sendo mais econômico e um pouco mais lento. Um trabalho completo de comparação com os outros sistemas wireless é visto em Graham (2007), sendo que o fator mais limitante para a instalação é a compra do aparelho. Seus transmissores só podem ser encomendados em projetos fechados, não sendo vendidos separadamente (a única exceção será o futuro controle remoto sem pilhas UPB).

Assim, se quisermos usar a tecnologia para instalar um controle de iluminação, o projeto só pode ser encomendado através de empresas licenciadas.

4.6.11. Bluetooth

O Bluetooth serve para conexão de dispositivos, possuindo uma taxa de comunicação rápida o suficiente para controlar interfaces com os usuários, mas seu consumo de potência e tamanho limitado de rede o impossibilitam de ser usado para controlar dispositivos.

4.6.12. ZigBee

O ZigBee também tem características muito semelhantes ao Z-Wave, sendo uma tecnologia concorrente. Ela pode oferecer uma taxa de conexão mais rápida, mas não é tão madura quanto o Z-Wave, possuindo uma menor distribuição de produtos de automação residencial e sendo levemente mais cara.

4.6.13. Infravermelho

Os protocolos definidos pelo Irda possuem uma taxa de transmissão relativamente grande, mas um alcance muito pequeno para serem utilizados como meio de transmissão para praticamente qualquer sistema de automação residencial.

A comunicação é ponto a ponto, formada rapidamente ao se alinhar dois aparelhos com portas infravermelhas. Há pouca interoperabilidade, mas os aparelhos Irda possuem um protocolo para aprender os comandos de controles-remoto infravermelhos. Ele poderia substituir controles remotos, fornecendo a comunicação com televisões e sistemas de ar-condicionado, exigindo apenas a instalação de um terminal de comunicação nas portas de entrada desses aparelhos.

Pensa-se que o Irda poderia vir a ser usado como um sistema para conexão com dispositivos do usuário, como foi usado em alguns PDAs e celulares durante o final da década de 90, através de um escaninho onde se deposita um aparelho do qual se desejam baixar arquivos. Assim, se forneceria um meio rápido de fazer download de imagens, músicas e filmes que estivessem sendo carregados.

5. CONCLUSÕES

Neste capítulo vamos fazer as últimas considerações do trabalho e apresentar uma tabela, resumindo a comparação dos sistemas de comunicação vistos.

Sistemas de rádio devem se tornar a maior tendência para a automação residencial durante os próximos anos, por serem independentes da arquitetura. A instalação de um cabeamento específico na residência para passar os dados é cara, um fator muito limitante para qualquer vendedor. Como cabos de telefonia e de televisão normalmente não são acessíveis em qualquer local, o uso da rede elétrica para passar os dados seria a única solução alternativa. Apesar disso, suas transmissões não são confiáveis o suficiente.

Dos padrões estudados, o INSTEON e o Z-Wave são os mais adequados para sistemas residenciais. Tanto pelo seu preço, flexibilidade, quantidade de produtos e por permitirem a conexão de controles remotos sem a necessidade de usar outros padrões complementares (como Bluetooth ou Wi-Fi). Note que ambos possuem problemas de segurança, sendo fácil para invasores se conectarem a eles com controles remotos, tudo que é necessário é conhecer o código de residência, que pode ser encontrado através de flooding. Essas preocupações com acesso indevido estão sendo revistas nas versões mais novas dos protocolos.

O ZigBee pode ser considerado uma versão aberta do Z-Wave, mas que não possui a mesma variedade de produtos residenciais. Isso limita a flexibilidade das instalações, os seus sensores de fluxo de água e gás são de nível industrial, sendo mais caros. Mesmo assim, o ZigBee é uma melhor plataforma de desenvolvimento, além de ser um padrão aberto, melhor documentado, não é necessário pagar uma anuidade para a aliança

Para conexão de controladores, o Wi-Fi é a melhor solução, por ser flexível e capaz de implementar interfaces gráficas com uma alta taxa de dados (novamente evitando a necessidade de padrões complementares). Ele também permite instalação de sistemas de multimídia, câmeras e sistemas de som distribuído, e pode ser usado para garantir acesso à internet em toda a casa para computadores pessoais. A alta taxa de comunicação com a flexibilidade de não depender de conectores físicos também se enquadra nas tendências de robótica.

O Ethernet, HomePlug e HomePNA podem ser considerados alternativas de menor custo ao Wi-Fi, mas não oferecem a mesma quantidade de serviços, não podendo ser usados para conexões de controles sem-fio. Sugere-se que essas tecnologias são mais adequadas como complementos ao wireless, ligando roteadores cujo sinal pode ficar bloqueado por paredes ou ligando câmeras distantes demais para o sinal de rádio. Elimina-se a necessidade de conexões FireWire, pois mesmo que ela ofereça uma alta velocidade de conexão, um *blottleneck* será encontrado ao ligar essas câmeras com a internet do usuário para acesso à distância.

5.1. Considerações Finais

A domótica é um termo “guarda-chuva” para a aplicação de uma série de novas tecnologias num ambiente residencial, e está se tornando um sinônimo de conforto e segurança para muitos. Após anos de vendas tímidas, consolidou um mercado ao redor da instalação e configuração de sistemas de *automação residencial*, interfaces de controle que facilitam a vida do usuário, dando-lhe um melhor controle sobre sua casa.

A indústria cresceu por muito tempo sem um grande foco, uma tendência de quais serviços deveriam ser ofertados, qual o melhor meio físico para se transmitir dados na residência e qual o formato do controle da casa. Acaba-se encontrando uma série de tecnologias, padrões e produtos diferentes, para basicamente as mesmas aplicações. Padrões PLC e de rádio despontam como as soluções mais flexíveis para as aplicações, enquanto protocolos TCP/IP mais rápidos realizam a conexão entre os controladores. Um trabalho futuro pode ser uma análise mais abstrata das necessidades da casa inteligente e a escolha de protocolos que se adequem de um modo específico.

Ainda não há uma muitas perspectivas para criação de novos serviços. Eletrodomésticos inteligentes com sistemas de comunicação embutidos, robôs e novos sensores ainda não estão sendo procurados como uma grande tendência. Por isso, o principal diferencial para a domótica acaba não sendo os serviços oferecidos, mas: o preço, a interface e como o sistema, se adapta aos usuários, através de perfis, controle de luzes, controle de ar-condicionado, sistemas “lazer sem trabalho”, etc.

Infelizmente, a oferta não cria demanda. Os clientes ainda não possuem contato com sistemas de casa inteligente, o que exige, por parte do vendedor, um esforço maior. Acredita-se que sistemas como o Control4, os “sistemas operacionais residenciais” que possuem flexibilidade e uma interface intuitiva e agradável, são a forma mais eficiente para atrair novos consumidores.

No Brasil, a automação residencial ainda é um mercado pouco explorado, talvez por isso, a venda de casas inteligentes engatinhe. A oferta de produtos, e não de um sistema completo de controle, seria bem recebida pelo público. Em especial, há uma preocupação nacional com a economia de energia e controle de gastos, gerando muito espaço para produção de sistemas de controle de iluminação e medidores. O desenvolvimento de sistemas ZigBee desponta como uma solução para oferecer o controle centralizado que não é um serviço comumente oferecido. Sistemas de segurança passam pela mesma necessidade, pois falta um interfaceamento com sistemas de comunicação.

De qualquer forma, reforça-se que o Integrador deve possuir um extenso conhecimento dos sistemas disponíveis, para oferecer serviços que sejam adequados à cada residência particular, escolhendo das tecnologias existentes qual a mais adequada.

5.2. Tabela Comparativa dos Resultados

Padrão	Custo	Consumo	Alcance e Meio Físico	Segurança	Velocidade	Interoperabilidade	Mercado	Uso
X-10	Baixo	Baixo	30 m (PLC)	Canal deve ser fechado com filtros	16 bps	Nenhuma	Ampla gama, tecnologia ultrapassada	Controle
UPB	Alto	Baixo	70 m (PLC)	Canal deve ser fechado com filtros	240 bps	Controles remoto EnOcean	Poucos produtos e fabricantes	Controle Sensor
Z-WAVE	Médio	Mínimo (bateria)	30 m (rádio)	Identificador de rede	9,6 ou 40 Kbps	Várias pontes para Zigbee, X-10 e INSTEON	Competindo com INSTEON e Zigbee pela liderança	Controle Sensor Interface
INSTEON	Médio	Baixo	45 m (PLC) 30 m (rádio)	Código de rede e Suporte à criptografia	1 Kbps (PLC) 38,5 Kbps (rádio)	Nenhuma	Competindo com Z-Wave e Zigbee pela liderança	Controle Sensor Interface
ETHERNET	Médio + instalação	Médio	100 m (Cabo Cat5)	Canal fechado	100 Mbps 1 Gbps	Nenhuma	Amplamente utilizado em redes residenciais	Dados
HomePlug	Médio	Baixo	300 m (PLC)	Canal deve ser fechado com filtros	14 Mbps a 85 Mbps	Encapsula Ethernet	Pequena distribuição por concorrência com Ethernet e Wi-Fi	Dados
Wi-Fi	Alto	Médio	30 m (rádio)	Código de acesso e criptografia	54 Mbps	Encapsula Ethernet	Amplamente utilizado em redes residenciais	Dados Interface

HomePNA	Baixo	Baixo	300 m (cabo de telefone ou coaxial)	Canal deve ser fechado com filtros	320 Mbps	Encapsula Ethernet	Pequena distribuição por concorrência com Ethernet e Wi-Fi	Dados
FireWire	Médio + instalação	Alto	100 m (cabo 9 pinos ou fibra ótica)	Canal fechado	800 Mbps 3,2 Gbps	Pode ser usado para formar redes TCP/IP	Utilizado em sistemas de câmeras e HDs externos	Câmeras Dados
EnOcean	Alto	Mínimo	1 a 100 metros (rádio)	Identificador de rede	125 Kbps	Controles remoto para UPB	Restrito, vende apenas projetos não aparelhos	Controle Sensor Interface
Bluetooth	Médio	Baixo	1 10 100 m (rádio)	Conexão controlada por central	Até 720 Kbps	Nenhuma	Disponíveis em muitos aparelhos pessoais	Interface
ZigBee	Médio	Mínimo (bateria)	70 m (rádio)	Código de acesso, criptografia no ZigBee Pro	20, 40 e 250 Kbps	Pontes para Z-Wave	Competindo com INSTEON e Zigbee	Controle Sensor Interface
Infravermelho	Baixo	Mínimo	1 m (infravermelho)	Nenhuma	2,1 Kbps a 1 Gbps	Pode ser usado para formar redes TCP/IP	Tecnologia ultrapassada de transmissão de dados	Controle Interface

Obs.: O alcance das tecnologias PLC e de rádio variam bastante, dependendo das características da casa. A velocidade de padrões PLC também é notadamente instável.

6. BIBLIOGRAFIA

EISENPETER, Robert C. VELTE, Toby J. **Build Your Own Smart Home**. Emeryville, California. Editora Mcgraw Hill, 2004

MURATORI, José Roberto. **As tendências do mercado de automação residencial**. Apresentação no XII Encontro Nacional de instalações Eletrônicas, São Paulo, 2008,

GUERRA, Juarez. **Automação Residencial: Conceitos e Cases**. [s.n.] Apresentação para a empresa Finder. São Paulo, 2005.

TERUEL, Evandro Carlos, NOVELLI FILHO, Aristides. **Automação Residencial: pesquisa quantitativa para conhecer a necessidade do cliente**. Anais do 2º Workshop de Pós Graduação e Pesquisa, 2007(a), São Paulo.

PARK, Hyun Keun, et al. **A Nursing Robot for The Elderly and Disabled**. Korea Advanced Institute of Science and Technology, Department of Electrical Engineering & Computer Science. Disponível em < http://web.cecs.pdx.edu/~mperkows/Rehabilitation_Robots/nursing-robot.pdf >. Acesso em: janeiro 2010

BOLZANNI, Caio. **Desmistificando a Domótica**. Aureside, Novembro 2007. Disponível em: < <http://www.aureside.org.br/artigos> >. Acesso em setembro de 2009.

History of Home Appliance. General Electrics. Disponível em < http://www.geconsumerproducts.com/pressroom/our_company/history_appliances.htm >, acesso: fevereiro 2010.

DRISCOLL, Edward B. **A Timeline for Home Automation**. 2002. Disponível em < <http://www.eddriscoll.com/timeline.html> >. Acesso: outubro 2009.

ROMANO, Rubens Augusto. **Você precisa de um profissional generalista?**, artigo traduzido de “Should I hire a Jack of all Trades?”, revista Electronic House, Maio 2009. Disponível em < http://www.automatichouse.com.br/AutomaticHouse/WebSite/Informativo/voce-precisa-contratar-um-profissional-generalista,20090908085335_N_055.aspx >. Acesso: janeiro 2010.

CHAPMAN, Keith, MCCARTNEY, Kevin. Smart homes for people with restricted mobility. **Revista Emerald Insight**, [s.l] vol 20, p. 253-256, 2002.

SALCES, Fausto J. Sainz et al. Ambient Interfaces for Elderly People at Home. Y. Cain d J. Abacal (Eds.) **Ambient Intelligence in Everyday Life**, p. 256-284. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Berlin, 2006

MURATORI, José Roberto. **Integrador de Sistemas Residenciais: um novo profissional.** Revista Casa Conectada, março 2005(a). Disponível em < <http://www.aureside.org.br/artigos/default.asp?file=01.asp&id=64> >. Acesso: setembro de 2009.

FARIA, Renato. **Integrador de sistemas residenciais.** Revista Técnica, em Abril de 2009. Disponível em < <http://www.revistatechne.com.br/engenharia-civil/144/integrador-de-sistemas-residenciais-profissional-projeta-e-implanta-sistemas-128799-1.asp> >. Acesso: dezembro 2009.

MURATORI, José Roberto. **A busca pelo foco do mercado.** [S.l.] [s.n.] Revista Casa Conectada, março de 2005(b). Disponível em < <http://aureside.com.br/artigos/default.asp?file=01.asp&id=68> >. Acesso: novembro 2009.

NEVES, Cleonor, et al. **Os dez maiores desafios da automação industrial: as perspectivas para o futuro.** II Congresso de pesquisa e Inovação da Rede Norte Nordeste de Educação Tecnológica, João Pessoa, 2007. Disponível em < http://www.redenet.edu.br/publicacoes/arquivos/20080109_085035_INDU-068.pdf >. Acesso: fevereiro 2010.

SCHERF, Kurt. **Digital Entertainment in the Home: the Home Computer & Connectivity.** Parks Associates, Dallas, 2004.

PROJETO de Interiores e Automação, boletim da ABD, publicado em Março de 2005. Disponível em < <http://aureside.com.br/artigos/default.asp?file=01.asp&id=72> >. Acesso: setembro 2009.

EUROPEAN home automation is set to double. Revista BusinessWire em 14 de agosto de 2007. Disponível em < <http://www.allbusiness.com/services/business-services/4551021-1.html> >. Acesso: março 2010.

ABI RESEARCH. **AS HOME automation goes mainstream, shipments will increase dramatically to four millions.** [s.n.], Scottsdale, setembro de 2008. Disponível em < <http://www.abiresearch.com/press/1246-As+Home+Automation+Goes+Mainstream,+Shipments+Will+Increase+Dramatically+to+Four+Million> >. Acesso: março 2010. Estudo disponível em < <http://www.abiresearch.com/research/1003235> >.

MCWILLIAMS, Andrew. **Home Automation and Security Technologies, Products and Markets.** Bcc Research [S.l.], Maio de 2009. Estudo disponível em < <http://www.bccresearch.com/report/IAS031A.html> >. Acesso: abril 2010

CONSTRUÇÃO civil vai liderar o crescimento no país. Coreio Braziliense, São Paulo, 6 de Janeiro de 2010. Disponível em < http://www.ie.org.br/site/noticia.php?id_sessao=4&id_noticia=2915 >. Acesso: maio de 2010

BOECHAT, yan, MARQUES, Hugo. **Por quê você ainda vai comprar uma casa nova.** Revista Istoé, 19 de Maio de 2010. Editora Três, São Paulo.

RICHARD, Davids. **Mass market not ready for home automation.** [S.l.] Smarthouse, Janeiro 2009. Disponível em < <http://www.smarthouse.com.au/Automation/Industry/R7N7M7C6> >. Acesso: maio 2010.

MIRANDA, Pollyana. **A Integração Pedre Parâmetros**. [S.l.] Revista Lumière automação, ed. Lumière, outubro 2008. Disponível em: < http://www.institutodofuturo.com.br/downloads/lumiere_automacao.pdf >. Acesso: setembro de 2009.

TEZA, Vanderlei Rabelo. **Alguns aspectos da automação residencial**. 2002, 108f. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) – Instituto de Informática, UFSC, Florianópolis.

COOK, Diane J., AUGUSTO, Juan C, JAKKULA, Vikramaditya R. Ambient intelligence: Technologies, applications and opportunities. **Revista Pervasive and Mobile Computing**, [s.l.] vol. 5, p. 277-98, ed. Elsevier. Dezembro, 2008.

SENA, Diane Souza Cristina. **Automação Residencial**. 2005, 109f. Dissertação (Projeto de Graduação) – Departamento de Engenharia Elétrica, UFES, Vitória.

OLIVEIRA, Adriano Márcio de. **Automação Residencial**. 2005, 53f. Dissertação (Projeto de Graduação) – Departamento de Ciência da Administração e Tecnologia, UNIARA, Araraquara.

VARGAS, Alessandra Antunes. **Estudo de comunicação de dados via rede elétrica para automação residencial/predial**. 2004, 65 f. Dissertação (Projeto de Graduação) – Departamento de Engenharia Elétrica & Instituto de Informática, UFRGS, Porto Alegre.

HERESCU, Rafael Rauter. **Automação residencial em redes sem-fio**. 2009, 55 f. Dissertação (Projeto de Graduação) – Instituto de Informática, UFRGS, Porto Alegre.

CHAN, Marie, et al. **A Review of Smart Homes – Present state and future challenges**. In: Revista Computer Methods and Programs in Biomedicine, [S.l.]. Ed. Elsevier, fevereiro 2008.

RENTTO, Katja, et al. **User's preference for ubiquitous Computing applications at home**. K. Miesenberger et al. (Eds.): ICCHP 2003, LNCS 2875, p. 385-393. Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2003.

NUSSBAUM, Gerhar, MIESENBERGER, Klaus. **Assistive Home – More than just another approach to Independent Living?**. In: [S.l.] K. Miesenberger et al. (Eds.): ICCHP 2004, LNCS 3118, p. 891-897. Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2004.

SGARBI, Julio André, TONIDANDEL, Flavio. **Domótica Inteligente: Automação residencial baseada em Comportamento**. UniFEI, São Bernardo do Campo.

BEGG, Rezaul, HASSAN, Rafiul. **Artificial Neural Networks in Smart homes**. In: Nugent (Eds.): Designing Smart homes, LNAI 4008, p 146-164. Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2006.

GOERTZEL, Ben. **A Samsung Robot in every home by 2020?**. In: [S.l.] Revista h+ magazine, março de 2010. Disponível em < <http://www.hplusmagazine.com/articles/robotics/samsung-robot-every-home-2020> >. Acesso: abril 2010.

ROMERO, Josh. **The Conference Room that Re-arranges itself**. In: IEEE Spectrum, inside technology, maio 2010. Disponível em: < <http://spectrum.ieee.org/automaton/robotics/robotics-software/the-conference-room-that-rearranges-itself> >. Acesso: maio 2010.

TERUEL, Evandro Carlos, NOVELLI FILHO, Aristides. **Principais tecnologias de automação residencial comercializadas no Brasil e suas características.** In: Anais do 2º Workshop de Pós-Graduação e Pesquisa, São Paulo, 2007(b).

CARDOSO, Liuam, et al. **Automação residencial: novas tendências em redes domésticas.** Associação educacional Dom Bosco, Rio de Janeiro.

WACKS, Kenneth. Home Systems Standards: Achievements and Challenges. In: **Revista IEEE Communications Magazine**, [S.l.] abril 2002. p. 152 – 159.

WACKS, Kenneth. **Home Electronic System.** [s.l.] ISO/IEC, Julho 2003. Disponível em < <http://hes-standards.org/> >. Acesso: julho, 2010.

WACKS, Kenneth. Home Electronic System (HES) Progress. Outubro, 2009. Disponível em < <http://hes-standards.org/> >. Acesso: julho, 2010.

Protocolos de automação residencial. [S.l.] [s.n.] Aureside. Disponível em < <http://www.aureside.org.br/temastec/default.asp?file=protocolos.asp&menu=temas> >. Acesso: setembro 2009.

Home Technology/Network Standards and Specs. [S.l.] [s.n.] Hometoys. Disponível em < <http://www.hometoys.com/standards.htm> >. Acesso: setembro 2009

Home automation. [S.l.] [s.n.] Wikipedia. Disponível em < http://en.wikipedia.org/wiki/Home_automation >. Acesso: setembro de 2009.

PAVLIDOU, Niovi, et. al. **Power Line Communications: State of the Art and Future Trends.** [S.l.] Revista IEEE Communications Magazine, abril 2003.

SYSTEMS, Power Control. **The UPB System Description, Version 1.1.** [s.n.]. Northridge, California, 2003.

GALEEV, Mikhail T. **Catching the Z-Wave.** [s.l.] Embedded.com, 2006.

DARBEE, Paul. **Insteon, the details.** Smarthome Technology. Irvine, California, 2005.

HOMEPLUG 1.0 Technology Whitepaper. [s.n.] San Ramon, California, 2002

VERBIN, Rami. **Deliver Home Entertainment Throughout the House Using Existing Wires.** [S.l.][s.n.] Março, 2009.

1394 Trade Association. **Firewire reference tutorial.** [s.l.] [s.n.], 2010.

VISHAY semiconductors. **IRDC, Part1: Physical Layer.** [s.l.][s.n.] setembro, 2006. Disponível em < http://www.irda.org/associations/2494/files/Publications/Physical_Basics.pdf >. Acesso: abril, 2010.

VISHAY semiconductors. **IRDC, Part2: Protocol.** [s.l.][s.n.] setembro, 2006. Disponível em < http://www.irda.org/associations/2494/files/Publications/Protocol_Basics.pdf >. Acesso: abril, 2010.

NUNES, Renato Jorge Caleira. **Modelo de especificação e programação de um sistema doméstico**. In: Conferência IADIS Ibero-Americana, Lisboa, Portugal, 2004.

CHENG, Jin, KUNZ, Thomas. **A Survey on Home Networking**. Technical Report, Carleton University, Systems and Computer Engineering. Ottawa, Canada, 2009.

DARBEE, Paul. **Insteon Compared**. Smarthome Technology. Irvine, California, 2006

GRAHAM, Martin. **Wireless Sensor Solutions for Home & Building Automation - The successful standard uses energy harvesting**. EnOcean, Kolpingring, Alemanha, 2007.

FIGURAS

FROST & SULLIVAN. **Growth of Smart Home technology in Europe**. Figura, color. Disponível em: < http://www.siemens.com/innovation/en/publikationen/publications_pof/pof_spring_2004/megacities/intelligent_buildings.htm >. Acesso: fevereiro, 2010.

INTERNET WORLD STATS. **Internet Usage Statistics**. 2009. Tabela. Disponível em: < <http://www.internetworldstats.com/stats.htm> >. Acesso: março, 2010.

UMIC, agência para a sociedade do conhecimento. **Penetração da Internet na população**. 2009. Figura, color. Disponível em < <http://www.unic.pt/index.php?option=comcontent&task=view&id=3156&Itemid=474> >. Acesso: março, 2010.

TERRAMEDIA. **LazyBones**. Figura, color. Disponível em < <http://www.terramedia.co.uk/Chronomedia/years/1950.htm> >. Acesso: março, 2010.

CONTROL4. **Sistema de controle remoto**. Figura, color. Disponível em < www.control4.com >. Acesso: março, 2009.

HOTFLOOR. **Calefação de piso**. Figura, color. Disponível em < <http://www.hotfloor.com.br/site/> >. Acesso: março, 2010.

HOUSE renovation tips. **Operate and maintain hot water radiator systems**. Figura, color. Disponível em < <http://www.houserenovationtips.com/operate-and-maintain-hot-water-radiator-systems/> >. Acesso: abril, 2010.

LINDSAY Manufacturing. **How Central Vacuum Systems Works**. Figura, color. Disponível em < <http://www.lindsaymfg.com/how.htm> >. Acesso: abril, 2010.

Z-WAVE. **Z-Wave, luminotécnica**. Figura, color. Disponível em < www.zwave.com.br >. Acesso: novembro, 2009. (a)

HARRIS, Tom. **How Surround Sound Works**. Figura, color. Disponível em < <http://electronics.howstuffworks.com/surround-sound.htm> >. Acesso: abril, 2010.

IROBOT. **Roomba**. Figura, color. Disponível em < <http://www.irobot.com> >. Acesso: março, 2010.

ROBOMOW. **Robot Mower**. Figura, color. Disponível em < <http://www.robomow.com/> >. Acesso: março, 2010.

ELOQUENCE. **Serving robot at Ubiquitous Dream exhibition in Seoul**. Figura, color. Disponível em < http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Seoul-Ubiquitous_Dream_11.jpg >. Acesso: março, 2010.

PASSIVENT. **Typical Layout**. 2007. Figura, color. Disponível em < http://www.passivent.com/downloads/passivent_domestic.pdf >. Acesso: maio 2010.

URBAN security systems. **Wireless Burglar/Intruder alarm**. Figura, color. Disponível em < www.urbansecuritysystems.co.uk/ >. Acesso: março, 2010.

MORIMOTO, Carlos E. **Cabeamento Estruturado**. 2008. Figura, color. Disponível em < <http://www.gdhpress.com.br/redes/leia/index.php?p=cap1-20> >. Acesso: março, 2010.

ELECTRONICS Project Design Schematics and Circuit Diagrams. **X10 Home Automation Project**. Figura, color. Disponível em < <http://www.electronics-project-design.com/X10HomeAutomation.html> >. Acesso: outubro 2009.

X10. **X10 Code table**. Figura, color. Disponível em < <http://www.x10.com/support/technology1.htm> >. Acesso: Outubro 2009. (a)

X10. **X-10 Module**. Figura, color. Disponível em <<http://www.x10modules.com> >. Acesso: março 2010. (b)

Z-WAVE. **Mesh Network**. Figura, color. Disponível em < http://zwave-products.co.uk/online/templatemedia/all_lang/resources/mesh.jpg > Acesso: março, 2010. (b)

ACE computer technology. **CAT5 wiring diagram**. Junho, 2009. Figura, color. Disponível em < <http://acecomptech.com/blog/?p=63> >. Acesso: novembro 2009.

DIGITALRADIOTECH. **QPSK signal constellation**. Figura, color. Disponível em < <http://www.digitalradiotech.co.uk/cofdm.htm> >. Acesso: novembro 2009.

MICROSOFT Technet. **How 802.11 Wireless Networks Works**. Figura, color. Disponível em < <http://www.digitalradiotech.co.uk/cofdm.htm> >. Acesso: Novembro, 2009.

GLOSSÁRIO

Clapper:	Aparelho que substitui interruptores, acionado pelo bater de palmas.
Código QR:	Código de barras de duas dimensões, de resposta rápida. Muito usado para reconhecimento visual.
Dialer:	Botão de seleção giratória.
Dimmer:	Sistema para controlar a intensidade de uma lâmpada usando modulação de pulso.
Eco-Friendly:	Sistemas para residências que diminuem o consumo elétrico ou usam materiais menos agressivos ao ambiente.
Gateway:	Aparelho que faz a conexão entre redes distintas. No caso do Gateway residencial, a Internet e LAN da casa, podendo também ser usado para conectar uma rede de automação.
HDMI:	High-Definition Multi-media Interface. Interface utilizada em televisões para imagem e som de alta qualidade.
Home- Theater:	Sistema de entretenimento caseiro, consistindo de uma televisão com sistema de som Surround (5.1 ou 7.1).
Hub:	Conector de redes ethernet sob um domínio de colisão apenas.
Indoor:	Ambientes internos, dentro da casa.
Inter-Frame:	Pausa na transmissão de dois pacotes (Frames) de uma transmissão
Rede mesh:	Rede “em malha”, onde todos os componentes são transmissores e receptores, conectando-se uns aos outros.
Rfid:	Etiqueta de identificação via rádio-frequência.
Smart Grid:	Rede elétrica modernizada, mais inteligente e capaz de transmitir dados, facilitando sua detecção de erros e o seu roteamento.
Switch:	Conector de redes ethernet, dividindo-os em domínios de colisão diferentes.
Timer:	Temporizador, liga ou desliga após um intervalo de tempo.
Touchscreen:	Telas sensíveis ao toque.

APÊNDICE 1: Sites das Empresas e Projetos Citados

- [1] Disponível em < <http://www.aureside.org.br> >. Acesso: março 2009.
- [2] Disponível em < <http://www.meticube.com/>>. Acesso: outubro 2009.
- [3] Disponível em < [http://www.kivasystems.com /](http://www.kivasystems.com/) >. Acesso: março 2010.
- [4] Disponível em < <http://www.intraworks.net/> >. Acesso: outubro 2009.
- [5] Disponível em < <http://www.homecontrolcanada.com/> >. Acesso: outubro 2009.
- [6] Disponível em < <http://pulseworx.com/> >. Acesso: março 2010.
- [7] Disponível em < <http://www.z-wavealliance.org/> >. Acesso: outubro 2009.
- [8] Disponível em < <http://www.insteon.net/> >. Acesso: setembro 2009.
- [9] Disponível em < <http://www.liveautomatic.com/> >. Acesso: setembro 2009.
- [10] Disponível em < <http://www.homeplug.org/home/> >. Acesso: novembro 2009.
- [11] Disponível em < <http://www.homepna.org/> >. Acesso: novembro 2009.
- [12] Disponível em < <http://www.homepna.org/> >. Acesso: outubro 2009.
- [13] Disponível em < www.control4.com/ >. Acesso: setembro 2009.

APÊNDICE 2: TG 1

Comparação de Mecanismos de Comunicação para Automação Residencial

Lucas Eishi Pimentel Mizusaki

Orientador: Prof. Dr. Valter Roesler

Porto Alegre, dezembro 2009

RESUMO

A automação residencial é uma área da engenharia que aplica as tecnologias de sensoriamento, controle e comunicação para um ambiente residencial, visando dar conforto e praticidade aos moradores. Apesar de ser estudada desde 1970, apenas nessa última década houve uma popularização desses projetos, e diversas empresas foram fundadas para esse mercado. No entanto, cada empresa usa uma tecnologia diferente, algumas com mais de 30 anos, o que torna difícil usar aparelhos de marcas diferentes e acaba restringindo o consumidor a trabalhar com apenas alguns fabricantes.

O trabalho proposto é uma análise dos padrões de comunicação mais comuns existentes no mercado e de técnicas alternativas, com o objetivo de compará-los e determinar quais são as soluções que oferecem o melhor custo/benefício. O enfoque é a diversificação dos meios físicos de comunicação, que acabam sendo um dos maiores problemas para os padrões mais tradicionais.

Sumário

1- Introdução.....	4
1.1- Contextualização.....	4
1.2- Aplicações.....	5
1.3- Objetivos do Trabalho.....	6
1.4- Motivações.....	8
2- Estado da Arte.....	9
2.1- Protocolos de Automação Residencial.....	11
2.1.1- O X10.....	11
2.1.2- O Universal Powerline Bus.....	14
2.2.3- O Z-Wave.....	17
2.2.4- O INSTEON.....	19
2.2- Padrões de Internet.....	23
2.2.1- O Ethernet.....	23
2.2.2- O HomePlug.....	24
2.2.3- O Wi-Fi.....	27
2.2.4- O HomePNA.....	28
2.2.5- O FireWire.....	29
2.3- Outras possibilidades.....	30
2.3.1- O EnOcean.....	30
2.3.2- O Bluetooth.....	30
2.3.3- O Zigbee.....	31
2.3.4- Infravermelho.....	31
2.3.4- Laços Magnéticos.....	31
3- Projeto.....	32
4- Cronograma.....	33
5- Conclusão.....	34
6- Bibliografia.....	35

1. Introdução

1.1 Contextualização

O termo casa inteligente identifica uma residência que possui uma série de projetos agregados: uma arquitetura eficiente, com um melhor aproveitamento de espaço, com sistemas eletrodomésticos e de controle de temperatura, sistemas de segurança e um sistema central de controle, que supervisiona e auxilia os moradores nas suas tarefas. Pode-se dizer que esse termo foi cunhado com o lançamento dos aparelhos eletrodomésticos, na década de 1920, indicando que os proprietários dessas tecnologias teriam mais praticidade e gastariam muito menos tempo com o cuidado da residência [1]. O entretenimento e a informação também se tornaram parte dos lares, através dos rádios e, posteriormente, da televisão. Foi nessa época que o termo “casa do futuro” foi utilizado pela primeira vez, para caracterizar um lar que precisasse de menor manutenção e proporcionasse mais conforto e lazer para os seus residentes. A automação residencial, ou domótica, estuda como implementar esse controlador e integrá-lo, de uma maneira adequada, à residência.

Durante os anos 70, a miniaturização da eletrônica e os avanços na área de transmissão de dados criaram o paradigma da interconexão, ou seja, como todos esses aparelhos poderiam agir em conjunto [2]. Assim, a residência poderia poupar ainda mais atividades domésticas, por exemplo, preparando o banho, abrindo as cortinas e ligando o som antes do proprietário chegar. Definiu-se então uma “nova casa do futuro”, onde haveria uma inteligência que pudesse controlar os aparelhos e planejar seu uso, utilizando uma interface amigável, podendo até mesmo responder a comandos de voz. Os primeiros projetos e padrões foram propostos nesta época, mas devido aos custos elevados, a automação residencial era ainda considerada um luxo extravagante. Por muito tempo, o único contato que um cidadão comum teria com essas tecnologias, seria através das feiras de tecnologia, em exposições sobre as casas do futuro.

No entanto, ao longo dos anos, a tecnologia foi ficando cada vez mais barata e comum e hoje já podemos caracterizar um mercado para a automação residencial. Esse mercado foi difundido com os sistemas de Home-Theater, que instigou as pessoas a procurar outras opções de conforto e lazer. Algumas construtoras já investem em instalações de cabeamentos planejados, que facilitem a instalação de sistemas de controle, para valorizar os seus prédios. Com isto várias empresas especializadas nestes sistemas tem sido criadas. Apesar dessas iniciativas, a automação residencial ainda é considerada uma área muito nova, pouco desenvolvida e com elevado potencial para crescimento, com diversos padrões diferentes e tecnologias concorrentes.

1.2 Aplicações

A automação residencial pode ser considerada como um serviço, ao invés de um produto. Ela deve obrigatoriamente se ajustar às necessidades do comprador, pois tanto as residências como os seus interesses são diferentes. Além disso, trata-se de um campo verdadeiramente multi-disciplinar [3]. Uma verdadeira sala do futuro exige uma estrutura arquitetônica inteligente, móveis com atuadores e sensores, um computador central, painéis de acesso em locais corretos e sistemas de luminosidade bem distribuídos e sincronizados com o

sistema de televisão [4]; ao toque um botão, a sala poderá mudar o seu ambiente (específicos para ver televisão, jantar, ter reuniões ou momentos mais íntimos). Instalações elétricas, projetos arquitetônicos, designs inteligentes adequados, trabalhos de luminotécnica, sistemas de controle, entre outros, são todos necessários para uma verdadeira automação residencial.

Pode-se dizer que são cinco características que atraem pessoas para a domótica, a acessibilidade, o conforto, a redução do consumo, a segurança e a conexão da casa:

A acessibilidade visa tornar o ambiente mais inteligente e adequado, para evitar acidentes em casa e proporcionar uma maior qualidade de vida, principalmente para pessoas com debilitações físicas. Nesse campo se estuda como preparar ambientes, como dispor os móveis, onde colocar tomadas, quais os melhores locais para os painéis de controle, qual a melhor maneira de dispôr as informações neles, etc.

Quem procura por conforto, procura automatizar todos os serviços da casa, da lavagem de roupas a preparação de alimentos. Isso exige muito mais do que apenas controles remotos ou sistemas de comando por voz, exige a instalação de um sistema de controle integrado na casa e sua conexão. No Brasil, esse é o maior mercado.

A redução do consumo de energia é vista como uma das formas de se diminuir o custo final do serviço de automação e de se atrair consumidores. Envolve a colocação de luminárias com sensores de presença, controle inteligente das persianas, das janelas, sistemas de controle climático bem distribuídos, etc. Geralmente, esse é o motivo pelo qual grandes escritórios procuram serviços de automação residencial.

A segurança é um investimento pesado e, infelizmente, necessário para muitas famílias. Integrar a segurança com os sistemas de automação residencial proporciona muito mais segurança do que apenas câmeras e cercas elétricas. Sistemas biométricos podem reconhecer os moradores e um sistema inteligente poderia, até mesmo, chamar a polícia em caso de invasões.

Por último, também não podemos deixar de listar a comunicação interna. Muito além do tradicional sistema de Home-Theather, que fecha as cortinas e ajusta a iluminação, uma rede de dados residencial deveria ser acessível de qualquer parte da residência. Isso permite acesso ao controlador através de múltiplas interfaces (como celulares, computadores, painéis de acesso e controles remoto) e centraliza toda a informação relevante da casa. Essa rede também deveria possuir uma banda de comunicação muito alta, para permitir acesso à internet e às diversas mídias, a partir de vários pontos. Assim, por exemplo, pode-se eliminar a necessidade de uma central para as câmeras de segurança de um edifício, os vídeos podem ser enviados diretamente para o controlador central e podem ser exibidos em qualquer interface da casa. Como esse é um conceito muito novo, que apareceu após a popularização da Internet, muitos padrões industriais ignoram essa necessidade, requerindo a instalação de outros fios e equipamentos.

Apesar desses fatores serem diferentes, eles estão intimamente ligados por um motivo: a necessidade de transferir dados internamente na casa. Os padrões mais antigos da indústria, como o X-10 (de 1970), não possuem capacidade para se fazer um controle inteligente sem sérias modificações.

1.3 Objetivos do Trabalho

O objetivo desse trabalho é estudar padrões industriais de automação residencial para classificá-los de acordo com uma série de métricas relevantes. Após um primeiro estudo, pretende-se estudar técnicas alternativas, geralmente utilizadas para Internet, para verificar a possibilidade de se integrar o sistema de controle com uma rede de dados na casa. Os padrões foram escolhidos variando-se o meio de comunicação física que eles utilizam, para verificar qual tecnologia teria o melhor custo-benefício.

Isso poderia resultar num barateamento dos custos da automação e a substituição de vários terminais espalhados pela casa pelos computadores pessoais dos usuários. Um estudo de interoperabilidade entre os padrões estudados também será necessário para avaliar se os produtos existentes no mercado poderiam ser utilizados dessa outra maneira.

Inicialmente, propõe-se as seguintes métricas:

Custo:

A maior limitação para que a indústria de Automação Residencial seja ampla, ainda é a questão do seu custo. Inicialmente, apenas os mais ricos e tecnófilos compraram esses sistemas; hoje em dia, mesmo com o barateamento da tecnologia, apenas residências de luxo podem arcar com os custos dessa tecnologia. Visando manter o trabalho atualizado por mais tempo, o custo a que se refere o trabalho envolve questões que vão além do custo físico dos equipamentos tecnológicos, englobando também necessidade de obras de infraestrutura para instalação, necessidade de fios extras, possibilidade de escalabilidade, entre outros. Essas informações permitem uma estimativa de custo a qualquer tempo.

Alcance:

As residências possuem dimensões limitadas, e algumas tecnologias terão um alcance mais adequado para ligar os diversos aparelhos da casa. É necessário verificar qual o alcance da tecnologia sem o uso de repetidores, para se ter uma ideia de seu preço-base. Para o caso de tecnologias wireless, a casa modelo nos permitirá visualizar qual o impacto das paredes e dos móveis na transmissão.

Qualidade de Serviço e Taxa de Erros:

O serviço de automação residencial é voltado para dar conforto e segurança para o cliente, logo ele deve ser altamente tolerante à falhas. Os equipamentos não devem ter malfuncionamento ou recepção de pacotes errados, ou graves acidentes podem ocorrer, o que acabaria por fechar a própria empresa de instalação. A banda de dados para cada aparelho também deve ser relativamente estável, pois os serviços da rede poderão ser utilizados a qualquer hora do dia para transmissão de qualquer tipo de dados. Afinal, seria intolerável que um sistema de segurança não pudesse gravar a movimentação da casa durante todo o dia.

Capacidade:

A capacidade de comunicação do meio é extremamente importante, pois um dos pontos centrais da automação é suportar acesso a vários equipamentos diferentes. Mais recentemente, estudos estão sendo feitos sobre a possibilidade de comunicação via voz, o que exigiria uma banda bem alta. Sob a proposta de acesso à internet, uma boa parte da banda deve ser reservada para a conexão.

Interoperabilidade:

Uma residência não é um ambiente estático, e se espera que os moradores troquem de aparelhos, façam upgrades e instalem novas tecnologias. Essas instalações devem ser fáceis e baratas de se fazer, pois ninguém quer ter que fazer obras em suas residências a cada compra de móveis. Um sistema com suporte a plug and play seria ideal, para diminuir a necessidade de suporte técnico para instalações (o que pode ser uma dor de cabeça para os proprietários).

Opções de Mercado:

Também é necessário buscar pelos produtos comercializados para os padrões que serão utilizados. Pretende-se colocar uma tabela indicando se a tecnologia é explorada por alguma indústria e representa um nicho de mercado.

1.4 Motivações

O objetivo do presente trabalho é estudar e classificar as tecnologias atuais de comunicação para serem utilizadas em um sistema de automação residencial. Há um mercado pouco explorado e que está crescendo em um ritmo acelerado, como podemos ver pela grande quantidade de condomínios de luxo em construção. A maior motivação é que este, provavelmente, é um dos melhores momentos para se abrir uma empresa nesta área.

Também há uma grande tendência de se buscar a interoperabilidade entre diversos sistemas de comunicação, como é o exemplo de pesquisas como o Universal Control Hub for Universal Remote Consoles (UCH-URC) da Meticube [5]. Esse produto é uma plataforma de software que tenta integrar qualquer interface de usuário com qualquer aparelho do ambiente, e pode ser uma área de pesquisas futuras. A experiência de trabalhar com diversos padrões e de se medir o seu desempenho é útil para esse tipo de pesquisas.

2. Estado da Arte

Pode-se ver uma evolução contínua dos sistemas de automação residencial desde que começaram a ser comercializados [2]. Inicialmente, o controle remoto para televisão entrou no mercado como a epítome do conforto, o telespectador não precisaria mais se levantar para mudar de canal. O conceito foi levado para outros aparelhos, com Clappers (acionadores de luz pelo bater de palmas), sensores de presença para acender e apagar luzes, timers para ligar aparelhos, etc.

A interface se tornou o foco. Diminuir o número de botões e tornar o controle mais inteligente e prático se tornou o ponto mais importante para atrair novos consumidores.. As primeiras casas realmente automáticas possuíam painéis de controle, por onde diversos aparelhos podiam ser ativados. Depois, esses painéis se tornaram controles remotos. Até mesmo algumas experiências com sistemas ativados por voz já foram feitas, mas sem grandes sucessos, pelo custo alto e confiabilidade limitada [6].

Hoje, há o desejo de se unir o controle inteiro da casa nos aparelhos pessoais do usuário, de uma maneira que ele tenha informações de feedback e a possibilidade de programar os aparelhos. Controles remotos com interfaces gráficas (como os controles remotos do Control4), PDAs e celulares (oferecidos por empresas como a HomeControl), assim como os computadores pessoais, se tornaram a principal parte do sistema de controle.

A próxima fronteira é a interação dos diversos aparelhos da casa e o seu uso planejado, através de um sistema de controle inteligente, que observa e planeja rotinas para a casa, identifica acontecimentos e informa os usuários. Para um sistema tão complexo, é necessário que haja uma ampla rede de dados disponíveis na casa, contendo sensores distribuídos e atuadores que troquem informações.

Hoje, um apartamento pode ser valorizado em mais de 5% do seu valor inicial apenas por ter no seu projeto um sistema de cabeamentos inteligentes (fiação de fácil acesso e com tomadas bem localizadas) [7]. Temos um exemplo dessa diferença em Porto Alegre, no condomínio Minato Mirai (Bairro Rio Branco), cujo valor de venda dos apartamentos é de cerca de R\$ 790.000. Desse valor, cerca de R\$ 200.000 vêm das instalações de ar-condicionado central, aquecimento de piso, janelas com isolamento térmico, luzes dimerizadas e do projeto de fiação. O valor de um sistema de controle, em média, é de R\$ 45.000 (instalado pela Homesystems) conforme informações do plantão de vendas.

Tradicionalmente, usam-se dois meios de comunicação para automação residencial: a rede elétrica e o rádio [8]. A princípio, utilizar a rede elétrica da casa para enviar os sinais de comando parece ser uma opção ótima em termos de custo/benefício. O consumo de energia dessas técnicas é mínimo, não há necessidades de grandes obras para que os aparelhos comecem a se comunicar, quase todos os aparelhos já estarão ligados na rede elétrica e basta ligar um emissor tomada para se criar a rede.

Precisamos atentar ao fato de que as redes elétricas não tem características adequadas para conduzir os sinais. Elas atenuam muito os sinais que a atravessam, o que reduz o seu alcance físico. Normalmente, uma casa pode possuir até três fases diferentes, que não conduzem bem os dados entre si, e talvez precisem ser interligadas com pontes de sinais. Os aparelhos ligados na rede também geram muito ruído, e também podem acabar funcionando como atenuadores de sinal. As redes elétricas também não possuem um cabeamento uniforme mesmo entre a mesma faze, o que exigirá algumas obras. Também é necessário isolar os sinais da rede, não pode haver “vazamento” de dados para fora da residência, ou a recepção de

comandos que venham de fora. Sistemas de rádio enfrentam menos problemas de interferências, mas são expostos e tem um alcance limitado, precisando de vários retransmissores ou uma fonte de alta potência.

Um edifício não possui apenas cabos de energia instalados nele. Instalações de rádio e cabos coaxiais de transmissão de TV à cabo são muito mais eficientes para transmissão de dados e podem ser utilizados para acesso à internet e comunicação dos aparelhos simultaneamente, utilizando controladores baseados em IP. Outra opção é instalar um cabeamento específico de rede, como o Cat-5, que acaba ficando barato diante do preço das instalações e dos aparelhos para a automação.

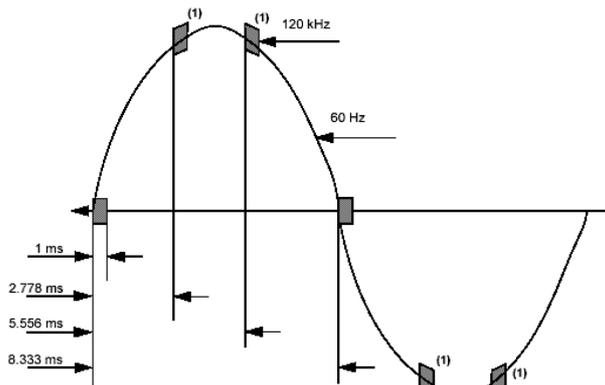
2.1 Protocolos de Automação Residencial

Esses foram desenvolvidos especificamente para automação residencial, possuindo uma série de características específicas. Os seguintes padrões foram escolhidos por serem flexíveis (de fácil instalação e configuração), amplamente utilizados e por suas tecnologias não serem proprietárias. Eles servirão como uma base para o estudo das outras tecnologias.

2.1.1 – O X10:

Desenvolvido em 1974, pela Pico Electronics, foi introduzido no mercado em 1978 pela RadioShack, como um dos primeiros padrões para a automação residencial. Mesmo após tantos anos, o X10 continua a ser amplamente utilizado, por ser barato, simples e por apresentar uma característica “Plug & Play”, bastando conectar os aparelhos para utilizá-los. Diversas empresas já desenvolveram produtos para esse padrão, dentre elas podemos citar: GE, RCA, Philips, Magnavox, Gemini, Leviton, RadioShack, ATI e Black & Decker [http://www.x10.com/support/faq_privacy.html].

Esse protocolo se comunica através da rede elétrica, enviando bits como pulsos de 120Khz ao mesmo tempo em que a rede elétrica cruza o zero, um ‘1’ é representado por um pulso de 1ms e um ‘0’ pela ausência desse pulso. Para evitar problemas com fases diferentes da rede, o pulso é transmitido três vezes (um a cada 120° de alternância). Assim, o sinal é transmitido para toda a residência, pois o neutro é ligado com todas as fases. Os sinais podem possuir um atraso de até 100 micro-segundos do ponto esperado. O protocolo também apresenta suporte ao rádio (para possibilitar o uso de controles remotos), usando uma portadora de frequência de 310 MHz e modulação em frequência. A sua taxa de comunicação final depende da rede local, dependendo da frequência da rede (a 50Hz, ele transmite 20bps; aqui no Brasil, a 60Hz, sua taxa seria de ~16bps).



Note 1: These 120 kHz carrier bursts are timed to coincide with the zero-crossing of the other phases, when implemented.

Fig. 2.1.1.1 – Forma de onda da transmissão dos dados no protocolo X10, com os tempos médios de cada transmissão

Fonte: <http://www.electronics-project-design.com>

Os aparelhos são endereçados usando-se um conjunto de 8 bits, divididos entre 4 bits de *House Code*, que endereça 16 grupos de aparelhos para serem controlados, e 4 bits de *Numeric Code*, que indica um dos 16 aparelhos agrupados em cada *House Code*. Isso gera um total de até 256 aparelhos por residência, caso elas tenham suas rede elétrica isoladas. A transmissão dos dados na rede é feita com pacotes de 13 bits, que sempre são enviados duas vezes, com 3 bits em zero como espaço inter-frame. Os primeiros 4 bits são o *Start Code* (1110), seguidos por 4 bits de *House Code*. Os últimos 5 bits são os *Key Codes*, que podem representar um *Código Numérico* ou um *Código de Função*. A tabela a seguir identifica os códigos:

Nome da Função	Ação
All units Off	Desligar todos aparelhos com o <i>House Code</i>
All Lights On	Desligar todos aparelhos de luz
On	Ligar o aparelho
Off	Desligar o aparelho
Dim	Diminuir a intensidade da luz
Bright	Aumentar a intensidade da luz
Extension code	Códigos de extensão – um código extra de 8 bits que segue imediatamente o pacote, para maior precisão para o controle de aparelhos
Hail Request	Resposta dos aparelhos do <i>house code</i> indicado
Hail Acknowledge	Resposta do comando anterior
Pre-Set Dim	Para dimmers, seleção de dois níveis de luz
Status Request	Requisição do status de um aparelho
Status is On	Resposta para o comando anterior
Status is Off	Resposta para o comando anterior

Tab. 2.1.1.1 – Identificação dos comandos X10

	House Codes				Key Codes					
	H1	H2	H4	H8	D1	D2	D4	D8	D16	
A	0	1	1	0	1	0	1	1	0	0
B	1	1	1	0	2	1	1	1	0	0
C	0	0	1	0	3	0	0	1	0	0
D	1	0	1	0	4	1	0	1	0	0
E	0	0	0	1	5	0	0	0	1	0
F	1	0	0	1	6	1	0	0	1	0
G	0	1	0	1	7	0	1	0	1	0
H	1	1	0	1	8	1	1	0	1	0
I	0	1	1	1	9	0	1	1	1	0
J	1	1	1	1	10	1	1	1	1	0
K	0	0	1	1	11	0	0	1	1	0
L	1	0	1	1	12	1	0	1	1	0
M	0	0	0	0	13	0	0	0	0	0
N	1	0	0	0	14	1	0	0	0	0
O	0	1	0	0	15	0	1	0	0	0
P	1	1	0	0	16	1	1	0	0	0
		All Units Off				0	0	0	0	1
		All Lights On				0	0	0	1	1
		On				0	0	1	0	1
		Off				0	0	1	1	1
		Dim				0	1	0	0	1
		Bright				0	1	0	1	1
		All Lights Off				0	1	1	0	1
		Extended Code				0	1	1	1	1
		Hail Request				1	0	0	0	1
		Hail Acknowledge				1	0	0	1	1
		Pre-Set Dim				1	0	1	X	1
		Extended Data (analog)				1	1	0	0	1
		Status = on				1	1	0	1	1
		Status = off				1	1	1	0	1
		Status Request				1	1	1	1	1

Fig. 2.1.1.2 – Identificação de códigos

Fonte: <http://x10modules.com/>

Com cada comando demorando no mínimo 0,65 segundos para serem enviados, a velocidade desse protocolo impossibilita o seu uso para criar sistemas com sensoamento inteligente ou uma rede de dados residencial. Normalmente, o X10 é utilizado apenas para ligar ou desligar os aparelhos (como podemos ver pelos *Function Codes*), e se houver a necessidade de transferência de dados, essa deve ser feita utilizando outras redes. Uma câmera de vigilância, por exemplo, não poderia enviar o seu vídeo diretamente para o computador de controle usando a rede X10, mas precisaria de um cabeamento extra para isso.

Infelizmente, o protocolo X10 não é apenas muito lento, mas possui um número muito grande de problemas com sua transmissão. Para começar, sempre há um grande decaimento de sinais quando se transmite dados entre fases diferentes da rede elétrica, pois elas são isoladas. Todos os dados transmitidos pelo fio neutro podem ser atenuados, pois as fases, mesmo sendo sincronizadas, podem não ter as mesmas relações de tensão com o fio neutro. A solução mais comum para esse problema é ligar conectar o sinal entre as fases da casa, um capacitor de alta potência ou uma ponte, como o LV6299 ou o XPXPCP. Ligar um transmissor de rádio na fase do controlador e receptores de rádio em cada uma das outras fases também é comum.

A tensão dos sinais transmitidos pelo X10 não são rigorosamente definidas, e variam entre 4 e 20 volts, sendo muito baixos para uma transmissão efetiva por mais de 30 metros de distância. A própria rede elétrica atenua sinais de alta frequência e causa uma grande distorção em todos os sinais por ter caminhos múltiplos.

O X10 também é muito vulnerável à ruídos. Quando se ligam os aparelhos na rede elétrica, uma infinidade de pulsos em várias frequências são enviados para a rede. Como o X10 não possui controle de erros, numeração de quadros ou mesmo controle de colisões, ele possui uma baixíssima confiabilidade. Também há um alto decaimento dos sinais com a distância, muitos aparelhos podem funcionar como filtros na rede, atenuando os sinais de alta frequência utilizados. Muitos usuários reportam problemas com a televisão e com lâmpadas fluorescentes.

Para que haja uma boa transmissão, recomenda-se a instalação de filtros de linha para todos os aparelhos, juntamente com a instalação de pontes de dados entre as fases diferentes da casa e instalação de repetidores para os cômodos mais distantes da casa.

Com tantos problemas, aparentemente o X10 não é o padrão mais adequado para se construir um sistema de automação, mas é importante ressaltar que há muitas empresas que ainda o utilizam. Talvez esse padrão minimalista permita fazer um controle razoável do ambiente, é necessário comparar sua qualidade de serviço com outros padrões mais novos.

2.1.2 – O Universal Powerline Bus (UPB):

O UPB foi desenvolvido em 1999 pela PCS Powerline Systems para ser uma alternativa mais confiável ao X10, mas com um preço competitivo e a mesma facilidade de instalação e configuração [<http://www.smarthomeusa.com/info/UPB/about/>]. Ele funciona através do envio de pulsos de 40 volts na rede elétrica numa região onde o ruído é menor. Esses pulsos podem estar em quatro posições diferentes, cada uma codificando um valor de 0 a 3 (Pulse Position Modulation). Assim, o UPB envia 2 bits de dados a cada meio período, gerando uma taxa de comunicação de 240 bps. O UPB também possui parâmetros para comunicação via rádio, mas isso não é utilizado para troca de informações, apenas para o uso de controles remoto.

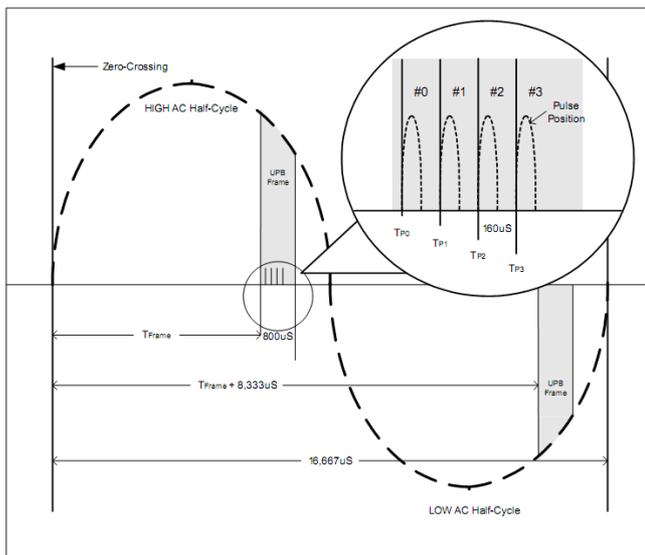


Fig. 2.1.2.1 – Comunicação do sinal UPB

Fonte: <http://www.smarthomeusa.com/Common/UPB/UPBdescription.pdf>

O frame UPB possui um mínimo de 7 bytes, e um máximo de 25 bytes, e está ilustrado na figura abaixo. Note que são indicados as posições do pulso UPB, e não os bits que compõem o pacote. O primeiro byte serve de preâmbulo, indicando o início de uma transmissão. Ele é seguido por um Header de 5 bytes (esclarecido a seguir), até 18 bytes de mensagem e 1 byte de checksum. O protocolo usa detecta a colisão do pacote com o algoritmo CSMA/CD, evitando superposições.

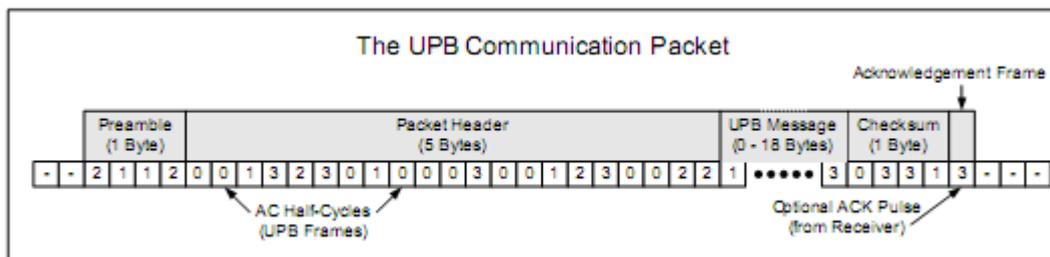


Fig. 2.1.2.2 - Frame UPB de comunicação

Fonte: <http://www.smarthomeusa.com/Common/UPB/UPBdescription.pdf>

O Header do pacote UPB é composto por 4 campos, uma palavra de controle (de dois bytes), um Network ID, Destination ID e o Source ID.

A palavra de controle é composta por 7 campos diferentes:

The UPB Packet Control Word

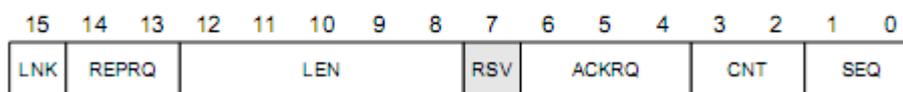


Fig. 2.1.2.3 – Palavra de controle do Frame UPB

Fonte: <http://www.smarthomeusa.com/Common/UPB/UPBdescription.pdf>

- LNK – Indica se o pacote possui um endereço de Link, um agrupamento. Um aparelho linkado possui uma lista de IDs para mensagens que ele irá aceitar como se fossem suas. Pode-se, com isso, linkar todas as luzes da sala e apagá-las com um só comando, sem ter que definir múltiplas *Networks*.
- REPRQ – Requisição para que haja uma retransmissão pelos repetidores que estejam instalados na rede. Suas configurações são seja repetido 0, 1, 2 ou 4 vezes.
- LEN – Indica o comprimento total do pacote.
- RSV – Bit reservado para uso futuro.
- ACKREQ – Esses três bits codificam três maneiras diferentes para o receptor enviar uma mensagem de confirmação de recebimento. O primeiro modo, envia um pulso de Ack, de valor 3, logo após receber o pacote. O segundo, envia um pulso de valor 3 com um atraso igual ao *Unit ID* do aparelho, enquanto o terceiro requer o envio de uma mensagem inteira. Esses outros modos existem para que o controlador possa checar o comportamento da rede elétrica, mas isso deve ser implementado pelo instalador.
- CNT e SEQ – Indicam, respectivamente, quantas vezes o pacote deve ser enviado (1-4 vezes), e quantas vezes ele já o foi. Usado para ter uma precisão melhor sobre uma rede ruidosa.

Cada aparelho do UPB é identificado por um total de 16 bits: 8 para indicar o *Network ID* e 8 para o *Unit ID*. O primeiro identifica até 256 agrupamentos diferentes de aparelhos; pode-se usar cada um desses endereços para indicar um apartamento (no caso de um prédio com controle central), ou para indicar um agrupamento inteiro de aparelhos (luzes, aparelhos da cozinha, da sala...). O *Unit ID* identifica individualmente até 250 aparelhos do mesmo *Network*, possuindo 6 endereços reservados, um para Broadcast (todos aparelhos da mesma rede), um endereço default (aparelhos que ainda não foram configurados) e dois

endereços para configuração dos aparelhos (quando em configuração, um aparelho entra no modo SETUP e pode receber um novo ID).

Em cada aparelho, há um mínimo de 64 registradores de 8 bits que mantêm a UPBID, uma série de dados de configuração sobre cada um dos aparelhos da rede. Esses dados incluem as IDs do aparelho, um password que permite modificar os aparelhos, um código de fabricante e de produto, um número serial de 32 bits, a versão do protocolo suportada pelo aparelho e nomes de 16 caracteres ASCII para a rede, a sala e o aparelho em questão (para facilitar suporte e manutenção da rede).

Cada pacote UPB possui até 17 bytes de mensagem, com um 1 byte de *Message Header*. Desses 8 bits, 3 são usados para o MSID (*Message Set ID*) e 5 para o MID/ESID (*Message Identifier/Extended Set ID*), que identificam uma série de comandos do padrão e do aparelho. Ao contrário do X10, a maior parte dos comandos do UPB são destinados para a configuração do aparelho, configuração de *links* e para a leitura do status do sinal que ele recebe. As funções específicas de cada aparelho geralmente devem ser aprendidas pelo controlador, o que permite uma grande flexibilidade.

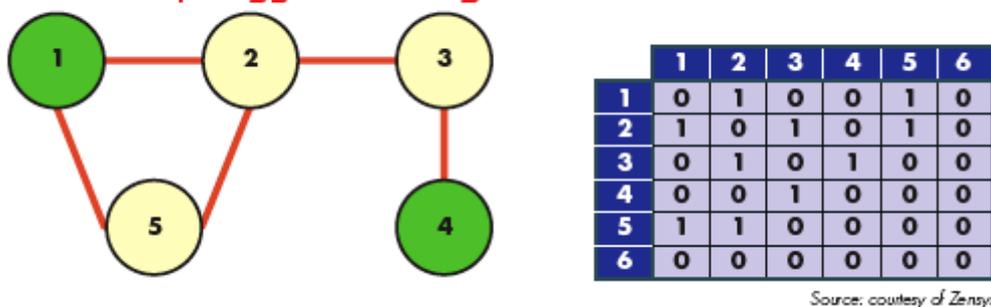
O UPB é um sistema de fase única, que precisa da instalação de repetidores e pontes entre-fase para alcançar toda a residência. Sua maior característica é injetar pulsos DC, que parecem ter maior alcance na rede elétrica. Ele possui uma arquitetura sólida, que pode ser usado para um controlador inteligente se reconfigurar para manter uma confiabilidade alta em diversas situações. Apesar disso, ele ainda é um protocolo lento, cada frame requer cerca de 0,1 segundo para ser enviado, o que o inviabiliza como uma plataforma de dados. Ele também não tem uma característica “Plug & Play”, sendo necessário configurar cada aparelho instalado na rede, o que prejudica um pouco a sua praticidade.

2.1.3 – O Z-Wave:

Padrão proprietário, regulamentado pela Z-Wave Alliance, foi desenvolvido em 1999 para a automação residencial com comunicação wireless [http://www.embedded.com/columns/technicalinsights/193101000?_requestid=735900]. Ele utiliza rádios de baixo consumo operando na faixa ISM de comunicação, a cerca de 908MHz, com modulação FSK e codificação Manchester, alcançando uma taxa de transmissão de até 40Kbps (a primeira versão do protocolo atingia 9,6Kbps) e tem um alcance médio de 30 metros. Apesar de ter um alcance relativamente curto, o Z-Wave utiliza uma rede de malha, com todos os seus componentes sendo capaz de retransmitir os sinais até chegar ao destino. Novos equipamentos são conectados automaticamente com a rede.

O protocolo determina dois tipos de nodos na rede: os *controlling devices* e os *slave nodes*. Os aparelhos de controle são responsáveis por manter uma tabela de roteamento com as rotas para se atingir cada nodo escravo (que representam os aparelhos controlados) e enviam comandos. Existem dois códigos de identificação de aparelho: o *Home ID* (de 32 bits) e o *Node ID* (de 8 bits). Sempre há um controlador central, chamado de *Static Update Controller ID Server*, que é responsável por formar a tabela de roteamento da rede e repassá-la para os outros controladores, e apenas um *Home ID*, o que limita o número de aparelhos a um máximo de 232 nodos (pois existem endereços reservados de multicast e broadcast). Esse controlador cria uma tabela de roteamento, a cada vez que um nodo novo é inserido na rede, ele envia um frame por broadcast e o controlador fará um pooling entre todos os nodos já existentes requerindo o seu *node information frame*, que, contém a identificação do nodo, seu tipo e quais os nodos que ele consegue ver.

Network topology and routing table



Source: courtesy of Zenys

Figure 3

Fig.2.1.3.1 – Exemplo de tabela de roteamento do Z-WAVE

Fonte: <http://i.cmpnet.com/embedded/gifs/2006/0610/1006esdGaleev03.gif>

A transmissão dos pacotes está dividida em quatro níveis: Aplicação, Roteamento, transporte e MAC, ilustrados na figura a seguir:

Z-Wave protocol frame structure

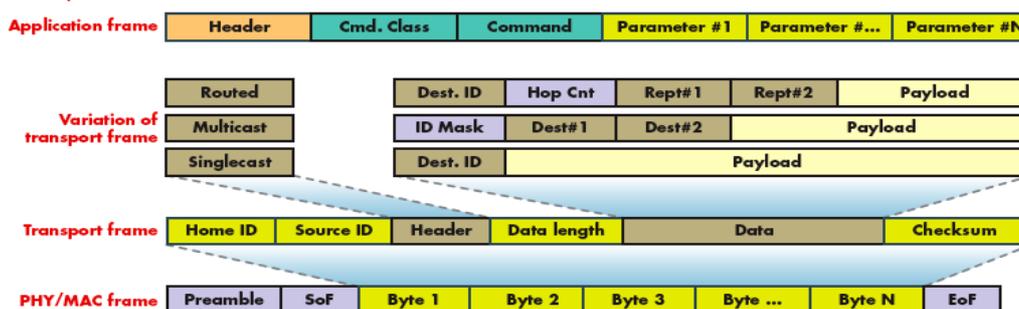


Figure 2

Fig. 2.1.3.2 – Frame Z-WAVE

Fonte: <http://i.cmpnet.com/embedded/gifs/2006/0610/1006esdGaleev02.gif>

O nível de aplicação é responsável por executar os comandos recebidos. Nesse estágio, seu frame é composto por um header (que contém informações sobre o tipo de frame e tipo de comando). Dois bytes de comando, o primeiro identificando a classe de comando e o segundo, o comando específico. As classes de comando são definidas como comandos de protocolo (roteamento, transmissão de dados) e específicas de aplicação (aparelhos de iluminação, controle de portas, ar condicionado, etc). O frame termina com um payload de dados e argumentos.

O nível de roteamento contém uma lista dos nodos pelos quais a mensagem deve passar antes de chegar ao seu destino. Caso haja algum problema de rota, como a falha de um dos nodos, o *SUC ID Server* deve ser contatado para resolver uma nova rota.

A nível de transporte, os nodos que recebem o frame identificam se ele lhes é destinado (através dos *IDs*) e verificam erros de transmissão, através do envio de mensagens de Acknowledge.

A nível MAC, da transmissão física entre dois nodos, os dados são divididos em payloads de 64 bytes, que são transmitidas pelo rádio (juntamente com um preâmbulo e bytes

de início e finalização de transmissão). O frame da camada de transporte Todos os nodos que recebem essa transmissão, checam o frame de transporte, que leva a identificação do nodo destinatário da informação. Para evitar colisões, o protocolo transmite o os dados alguns instantes depois de transmitir o preâmbulo, para que os outros nodos não transmitam nesse período.

Se houver a necessidade de conectar a rede Z-WAVE com outra rede de dados, usa-se um controlador de ponte. Pode-se usar pontes entre duas redes Z-WAVE para aumentar o número máximo de componentes que podem ser controlados numa casa.

A rede Z-WAVE é bem flexível e fácil de instalar. Ela possui uma confiabilidade muitas vezes maior do que a do X10 e sua plataforma requer muito menos configurações que o UPB. Os seus aparelhos são projetados para funcionar com um consumo mínimo, o que permite que eles operem usando baterias, facilitando sua instalação. Mesmo assim, essa rede apresenta problemas de segurança, bastando conhecer o Home ID de uma casa para poder conectar um controle remoto, que poderia controlar a casa por fora.

2.1.4 – O INSTEON:

Outra tecnologia desenvolvida como uma sucessora para o X10, o INSTEON foi criado pelo SmartLabs em 2001, e é retro-compatível com seu “antecessor”. Ele se baseia na construção de uma rede *mesh* (de malha), usando rádio frequência e envio de dados sobre a rede elétrica [<http://www.insteon.net/pdf/insteonthedetails.pdf>]. Todos os aparelhos INSTEON agem como repetidores das mensagens que recebem, o que resolve os problemas de caminhos da rede e distância alcançada pelas mensagens.

Sua comunicação em nível elétrico se dá com modulação de fase, sobre uma portadora de 131,65KHz na rede elétrica, com uma tensão que varia entre 0,01 e 4 volts. Cada bit é sinalizado com 10 períodos da portadora, os bits em ‘1’ são aqueles cujo ciclo começa indo para o positivo e os em ‘0’ para o negativo. Isso gera uma velocidade de pico teórica de 13,1 Kbs para o protocolo. Para evitar a criação de componentes de alta frequência, a transição de fase sempre se dá de uma forma gradual: muda-se a frequência para 197.475 KHz durante 1.5 ciclos, o que causa uma mudança de 180° de fase da onda:

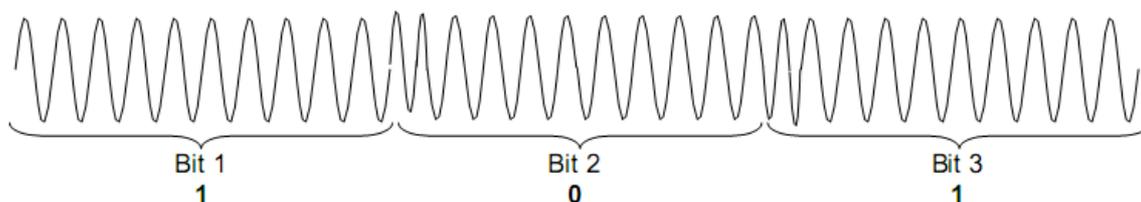


Fig. 2.1.3.1 – Transição de fase do INSTEON

Fonte: <http://www.insteon.net/pdf/insteonthedetails.pdf>

O protocolo de rádio do INSTEON, como muitos outros, usa uma modulação em frequência com codificação machester, e opera sobre a faixa de rádio ISM (*instrumental, scientific and medical*), que é de uso aberto, a 904 MHz. Esses comunicadores de rádio são usados principalmente como controles remotos e para substituir as pontes entre as diferentes fases da rede elétrica, ou para interligar duas redes diferentes, facilitando o trabalho para qualquer instalador e diminuindo a necessidade de obras.

A comunicação no INSTEON é feita através de mensagens de 10 bytes, que podem receber mais 14 bytes extras de dados. Os 3 primeiros bytes indicam o endereço do remetente

e os 3 seguintes, o do destinatário. O byte seguinte contém as flags de controle, seguida por 2 bytes para comandos, mais 14 bytes opcionais de dados e 1 byte final de CRC. Para evitar colisões, usa-se CSMA/CD.

INSTEON Standard Message – 10 Bytes				
3 Bytes	3 Bytes	1 Byte	2 Bytes	1 Byte
From Address	To Address	Flags	Command 1, 2	CRC ³

Fig. 2.1.3.2 – Mensagem padrão do INSTEON

Fonte: <http://www.insteon.net/pdf/insteonthedetails.pdf>

Os bits de FLAG contém configurações da transmissão:

Bit Position	Flag	Meaning
Bit 7 (Broadcast /NAK) (MSB)	Message Type	100 = Broadcast Message
Bit 6 (Group)		000 = Direct Message 001 = ACK of Direct Message 101 = NAK of Direct Message
Bit 5 (Acknowledge)		110 = Group Broadcast Message 010 = Group Cleanup Direct Message 011 = ACK of Group Cleanup Direct Message 111 = NAK of Group Cleanup Direct Message
Bit 4	Extended	1 = Extended Message 0 = Standard Message
Bit 3	Hops Left	00 = 0 message retransmissions remaining
Bit 2		01 = 1 message retransmission remaining 10 = 2 message retransmissions remaining 11 = 3 message retransmissions remaining
Bit 1	Max Hops	00 = Do not retransmit this message
Bit 0 (LSB)		01 = Retransmit this message 1 time maximum 10 = Retransmit this message 2 times maximum 11 = Retransmit this message 3 times maximum

Fig. 2.1.3.3 – FLAGS do INSTEON

Fonte: <http://www.insteon.net/pdf/insteonthedetails.pdf>

Os bits [7-5] informam que tipo de mensagem está sendo passada, que pode ser uma *Direct Message* (mensagem para um aparelho específico), de *Broadcast* (o endereço de destino irá indicar os tipos de aparelho que receberão a mensagem) ou *Group Broadcast* (pode-se definir grupos de aparelhos, identificados por 8 bits do *To Address*, um aparelho pode participar de mais de um grupo). Aqui também se identificam as mensagens de Ack e Nack.

O bit 4 identifica o tamanho da mensagem, que pode ser de 10, simples, ou 24 bytes, estendida.

Os últimos 4 bits são usados para controlar o número de *Hops* (retransmissões) que cada mensagem deve ser submetida. Esse número é determinado pelo transmissor dependendo do tamanho da rede. As retransmissões eliminam a necessidade de algoritmos de roteamento, e são feitas pelos aparelhos da rede que não transmitiram a mensagem. A rede doméstica, geralmente, é pequena e dificilmente será necessário aplicar mais do que quatro Hops. Caso haja perda de pacotes, os fabricantes sugerem realocar os aparelhos de uma forma mais distribuída.

de conectividade vistos no X10 e no UPB através do uso de rádios e transmissores RF ao mesmo tempo. O protocolo tem uma arquitetura eficaz de comunicação, interligando todos os aparelhos, o que permite fazer um controle distribuído da casa onde os sensores ativam os aparelhos de acordo com o que eles percebem possuindo, aparentemente, as melhores qualidades do UPB e do Z-WAVE. Ele também possui uma banda de comunicação muito baixa, ineficaz para aplicações de transmissão de dados.

2.2 - Padrões de Internet:

Muitos produtos de controle residencial sobre o protocolo TCP/IP já existem, e são comercializados por empresas como a Intraworks e a Home Control Canada [9] [10], cujos aparelhos trabalham com Ethernet. Usando esse protocolo, cada aparelho pode ser comandado tanto por um programa de controle, uma interface gráfica (um mapa da casa com ícones simples de rápido acesso) ou uma página web (que exibe dados complementares da máquina). Esses meios possuem uma taxa de comunicação maior, o que permite que mais informações circulem pela rede.

Os seguintes padrões foram selecionados pela sua diversidade de meios físicos para comunicação, pois o objetivo do trabalho é estudar a possibilidade de se criar uma rede de dados doméstica que possa controlar todos os aparelhos, repassar informações ao usuário e permitir o acesso à câmeras de vigilância, mapas interativos, etc.

2.2.1 – O Ethernet:

O Ethernet é um dos padrões mais utilizados o acesso à internet a partir de um PC. Nesse trabalho, estudaremos o Ethernet sobre o barramento Cat5 (o mais comum), que usa quatro pares de fios trançados para transmissão de dados. Serão estudados as versões 100BASE-T (*Fast Ethernet*) e 1000BASE-T (*Gigabit Ethernet*), com velocidades respectivas de 100 Mbps e 1Gbps.

Inicialmente desenvolvido pela Xerox em 1975, como um sistema de comunicação de dados multi-ponto com detecção de colisão (usa o CSMA/CD). Foi desenvolvido para uso com cabos coaxiais, sendo que hoje empregam-se cabos de par trançado, chamados de Categoria 5. O uso de ambas técnicas permite uma grande rejeição à ruídos, permitindo taxas altas de comunicação com muita confiabilidade. O ano de lançamento do Fast Ethernet gigabit ethernet foi 1995 e o do Gigabit, 1997. Ambos utilizam os mesmo cabo

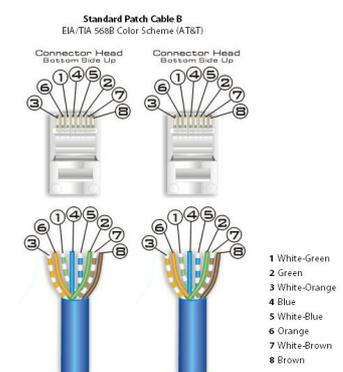


Fig. 2.2.1.1 – cabos Cat-5

Fonte: <http://acecompotech.com/blog/?p=63>

A comunicação dos dados é digital, utilizando a codificação manchester, o que impossibilita o uso de outros protocolos simultâneos no mesmo barramento. Para evitar erros na transmissão, usa-se uma taxa de 8bits / 10 bauds. A frequência de comunicação é de 125 MHz em ambas as técnicas. Para o Fast Ethernet, dois pares são utilizados (Tx+, Tx-, Rx+ e Rx-), utilizando 3 tensões para sinalizar: 0, +1V e -1V. O que permite o *Gigabit Ethernet*, é o fato de que ele utiliza os quatro pares do cabo para a comunicação, e sua sinalização utiliza 5 níveis de tensão (0, +1V, +2V, -1V e -2V).

O Ethernet se comunica através de frames com um tamanho entre 72 e 1526 bytes, precisando de um *gap Interframe* de 12 bytes. Os seus frames são endereçados com um endereço único chamado *Media Access Control Address* (MAC) de 6 bytes, necessário para qualquer aparelho se comunicar na rede

Cada frame possui 7 bytes de preâmbulo (para sincronização do receptor), um byte de início de frame (SoF), 12 bytes para identificação de endereços (de envio e de destino), um campo de 2 bytes de comprimento do pacote (ele também é usado para identificar um outro protocolo que esteja encapsulado). O protocolo é flexível e poderia encapsular pacotes de outros padrões de controle doméstico, pois o payload tem tamanho suficiente:

Preâmbulo	Sof	Dest Mac	Source Mac	Length	Payload	CRC32
7 bytes	1 bite	6 bytes	6 bytes	2 bytes	46-1500 bytes	4 bytes

Tab. 2.2.1.1 – Frame Ethernet

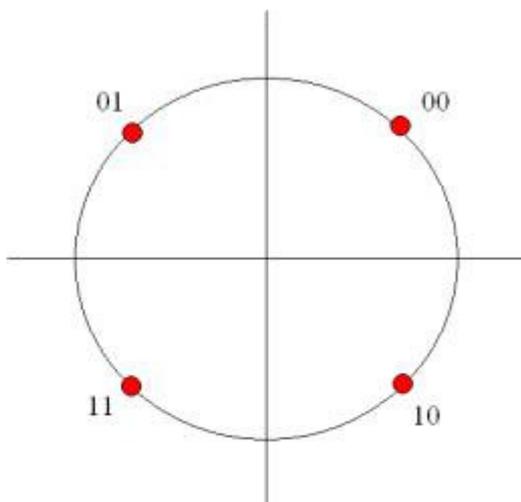
O alcance máximo para cada cabo é de 100 metros, mas isso depende muito da qualidade do cabo, pois o padrão é sensível a variações de resistência, especialmente quando estamos usando o *Gigabit Ethernet*. O standard Cat5e tem suporte ao cabeamento estruturado, e vários dispositivos podem ser conectados através de hubs. Uma rede de dados doméstica deveria ser projetada com todos os pontos de acesso distribuídos entre os aparelhos e pontos de conexão à internet. Talvez a estrutura fique pouco flexível, pois para cada aparelho novo, será necessário instalar um novo ponto de acesso.

2.2.2 – O HomePlug:

Tendo em vista as limitações de pontos de acesso que o Ethernet possui, pode-se usar uma rede IP de maior velocidade sobre a rede elétrica para controlar os mecanismos de dentro da casa. A HomePlug Power Alliance é um grupo de pesquisas que tem estudado esse problema desde 2000. Em 2001 eles lançaram o HomePlug 1.0, que permite velocidades de até 14Mbps, como tecnologia padrão para redes *Power Line*, baseando-se na tecnologia *PowerPacket* da Intellon. Taxas de comunicação mais altas são disponíveis nas redes de transmissão (que oferecem um meio melhor, por operarem com tensões mais altas), e a aliança continua a pesquisar maneiras de se acelerar a transmissão numa residência. No momento, a Intellion oferece uma solução para acelerar o HomePlug 1.0, o PHY INT5500, chamado Turbo Power Line Chip Set. Com esse PHY refinado, alcançam-se taxas de até 85Mbps.

O HomePlug 1.0 se comunica na rede através de um sinal modulado em frequências ortogonais (OFDM), dividindo o sinal em 84 portadoras diferentes entre 4.5 e 21MHz. A codificação de cada portadora é feita com modulação em fase, caracterizando o Phase Shift

Keyin (PSK). Por causa das dificuldades apresentadas pelo meio, três modulações são possíveis, adaptando-se à situação do meio: DBPSK ou DQPSK (utilizando opostos, posições 00 e 11 ou 01 e 10 no gráfico abaixo). Quando está transmitindo um pacote de broadcast ou está se adaptando a uma rede, o HomePlug utiliza uma modulação muito mais lenta, chamada ROBO, onde os bits são modulados com o DBPSK e repetindo cada bit quatro vezes, para garantir sua entrega.



QPSK Signal Constellation

Fig. 2.2.2.1 – QPSK

Fonte: http://www.digitalradiotech.co.uk/images/ofdm/QPSK_constellation_q70.jpg

O HomePlug foi feito para operar encapsulando redes Ethernet. Mesmo seu sistema de endereçamento é compatível, usando um endereçamento “HomePlug MAC”, idêntico ao Ethernet.

Para evitar colisões entre transmissões de pacotes, usa-se o carrier sense *multiple access with collision avoidance* (CSMA/CA), o que demonstra a preocupação dos desenvolvedores em manter o canal de comunicação mais livre possível. Os transmissores possuem um algoritmo de backoff e podem ser interrompidos caso hajam frames de maior prioridade a serem transmitidos. São definidas quatro prioridades de pacotes: Voz, Vídeo, Transferência e Best Effort.

O protocolo possui dois tipos de Frame, o *Long Frame* e o *Short Frame*. O *Long Frame* é composto por um *Start of Frame Delimiter*, um *Payload* e um *End of Frame Delimiter*.

O SoF é composto por um preâmbulo e 25 bits de *Frame Control*. Ele contém dados sobre o tipo e tamanho do pacote, prioridade e informações sobre qual modulação estará sendo usada para melhor se adaptar a rede.

O *payload* possui um tamanho indicado no *Frame Control*, entre 20 e 160 símbolos OFDM. Contém 17 bytes de *Frame Header*, um *payload* variável e 2 bytes de *Frame Check Sequence*.

Após o envio do payload, o transmissor envia o *EoF Delimiter*, que consiste em outro preâmbulo e mais um *Frame Control*, esse contendo apenas informações sobre prioridades do frame enviado.

O *Short Frame* se consiste no preâmbulo e mais um *Frame Control*, funciona como Ack do controle de fluxo *Stop and Wait automatic repeat request* (ARQ), que é utilizado pelo protocolo.

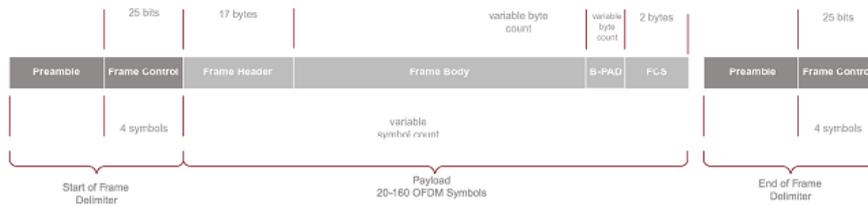


Figure 1: Long Frame Format

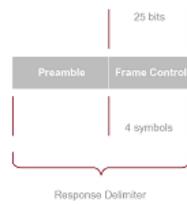


Figure 2: Short Frame Format

Fig. 2.2.2.2 – Frames do HomePlug

Fonte: http://www.homeplug.org/products/whitepapers/HP_1.0_TechnicalWhitePaper_FINAL.pdf

O HomePlug 1.0 é um padrão muito robusto se comparado com todos os BPLs anteriores, possuindo até mesmo suporte à criptografia. Mesmo assim, ele não consegue apresentar velocidades de transmissão constantes. Dependendo da codificação utilizada, sua velocidade flutua entre 1,2Mbps (usando a ROBO), a 14 Mbps (DQPSK 3/4).

2.2.3 – O Wi-fi:

As redes 802.11 tem se tornado muito comuns para o acesso sem fios à internet. Além de barato, um roteador wireless poderia se comunicar com grande facilidade com os aparelhos de automação que funcionem sobre IP, além de proporcionar acesso à rede em qualquer lugar da casa. Os Wi-fi também podem ser usados como um complemento para uma rede de dados Ethernet, pois multiplicam os pontos de acesso sem a necessidade de mais instalações físicas.

As redes 802.11g, que serão estudadas nesse trabalho, operam sobre a faixa de rádio de 2,4 Ghz, com uma taxa de dados de até 54Mbps. Elas tem um alcance indoor médio de 32 metros, dependendo das antenas dos emissores e do ambiente. Os dados são transmitidos via codificação OFDM, com sub-portadoras codificando seus dados em QPSK, para velocidades acima de 6Mbps, o que garante um nível muito alto de resistência à ruídos.

Uma rede Wi-Fi consiste em 3 tipos de aparelho: Os *Access Points* (AP), as estações que transmitem o sinal de wireless, os *Distribution Systems* (DS), que conectam os APs e outras redes, e as *Stations* (STA), os usuários da rede.

O frame Wi-Fi possui um tamanho que varia entre 34 e 2336 bytes, sendo se Um payload de até 2312 bytes:



Fig 2.2.3.1 – Frame Wi-Fi

Fonte: <http://technet.microsoft.com/en-us/library/cc757419%28WS.10%29.aspx>

Os primeiros 2 bytes formam o *Frame Control*, que contém identificadores de versão de protocolo, tipo e subtipo de frame, identificação da direção do frame (se vai para o DS ou está vindo dele), identificações ao receptor se o payload está fragmentado, se há mais dados a seguir e se os dados do payload devem ser ordenados, e um identificador de que os dados estão criptados.



Fig 2.2.3.2 – Frame Control Field

Fonte: <http://technet.microsoft.com/en-us/library/cc757419%28WS.10%29.aspx>

2 bytes de Duration/ID, que identificam o tempo necessário para receber a próxima transmissão.

Um total de 4 endereços MAC, que podem ser usados para identificar o destino, a fonte, a rede em que os dados estão sendo transmitidos, ou o próximo Hop (STA que pode retransmitir o frame para o destino).

2 bytes de controle de sequência. Os primeiros 12 bits identificam uma sequência de até 4095 frames e os outros 4 bits são utilizados para identificar a sequência caso a frame seja fragmentada.

4 bytes de *Frame Check Sequence*, que serve para checagem de erros no frame através de um CRC.

A arquitetura da rede Wi-fi a ser estudada é chamada de modo infraestrutura: vários pontos de acesso, ligados entre si por uma rede Cat5, que estarão distribuídos na residência. Cada aparelho deve se conectar através de um access point à rede.

É necessário verificar a estabilidade e o alcance desse tipo de rede, deve-se ter um acesso de qualidade à rede em qualquer lugar da casa. Outro problema também é o grande consumo de energia elétrica dos emissores Wi-fi, que exige que os sensores e atuadores da casa sejam ligados na rede elétrica.

2.2.4 – O HomePNA sobre linha telefônica e cabos coaxiais:

A *Home Phonenumber Networking Alliance* (HomePNA ou HPNA) oferece algumas soluções de conexão rápida à internet utilizando cabos que normalmente são instalados nas residências: telefônicos e coaxiais.

[http://i.cmpnet.com/digitalhomedesignline/2009/06/pmCopper_PDF.pdf]

A versão 3.1 do HomePNA (ou standard ITU G.9954) foi desenvolvida para trabalhar sobre os dois tipos de cabos. Usa-se uma modulação *Quadrature Amplitude Modulation* (QAM), mas com diversas constelações diferentes e duas bandas de comunicação (a 32 e 16MHz), para que a rede se adapte de acordo com o momento. As velocidades alcançadas variam de 4 a 320 Mbps, dependendo da modulação utilizada, uma vez que ele tenta se adaptar de acordo com o ruído.

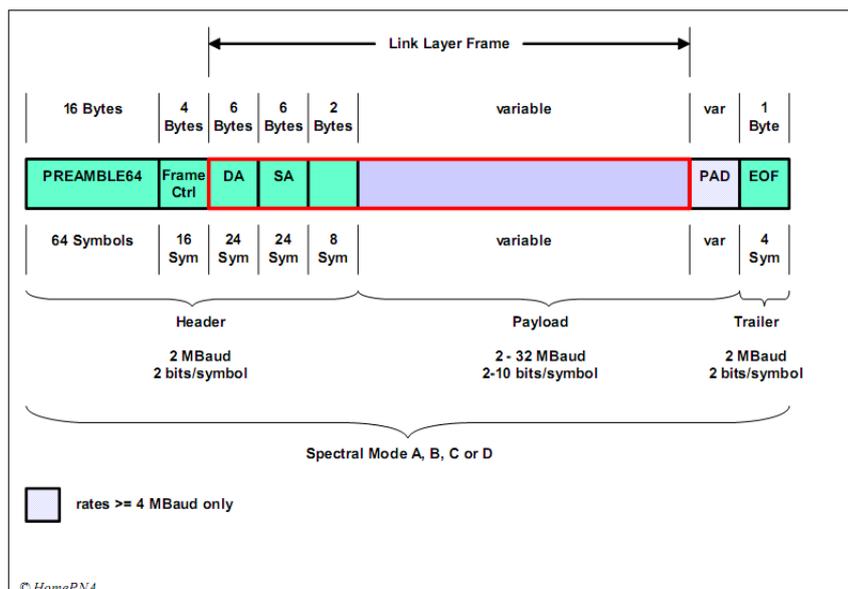


Fig. 2.2.4.1 – Frame do HomePNA

Fonte: http://i.cmpnet.com/digitalhomedesignline/2009/06/pmCopper_PDF.pdf

O Frame do HomePNA é muito similar ao Frame Ethernet, contendo dois endereços de 6 bits, e 4 bytes de controle do frame (com o tamanho do pacote, prioridade e dados de configuração da transmissão).

O sistema é Half-duplex e oferece suporte à transmissão em bursts através de um processo chamado agregação de pacotes, encapsulando mais de um pacote num mesmo frame, até o tamanho máximo do payload ser atingido (32MBauds). O controle de erros é feito através de um protocolo *Automatic Repeat Request* (ARQ), e um CRC 16 (considerado payload).

Mesmo com a constante difusão das tecnologias de telefonia móvel, a maioria das casas ainda possui instalações telefônicas convencionais. Esses cabos podem ser menos suscetíveis à ruídos e, pela característica do telefone, formam um único barramento ao redor da casa, sendo uma estrutura perfeita para se criar uma rede de dados, ao contrário do que pode acontecer com o PLC, que precisa de pontes de comunicação entre fases.

Os cabos coaxiais são menos comuns, geralmente utilizados para televisão. Eles não formam uma estrutura muito adaptável, pois precisam ser cortados para instalar outros pontos de acesso. Mesmo assim, esses cabos são muito bons para comunicação de dados, pois são blindados e não possuem tanta atenuação.

Oferecendo uma banda de até 320 Mbps, com um alcance de até 300 metros, numa área de até 900m², o Home PNA é uma tecnologia promissora. Com essa velocidade, pode-se conectar computadores à internet e repassar os sinais de câmeras de vídeo diretamente para a central sem precisarmos de outras redes ou cabos. Ele também é compatível com o Ethernet, o que o torna muito prático.

2.2.5 – O Fire wire:

O IEE 1394 (FireWire) é uma interface para comunicação em tempo real e a altas velocidades, lançado pela Apple em 1995. Testaremos o FireWire 800, que permite comunicação full duplex de até 783,432Mbps sobre o seu barramento padrão, e até 3.2 Gbps, sobre redes óticas. A ideia é verificar a possibilidade de utilizar o fire-wire como um

barramento que a transmissão de todo tipo de dados, criando-se uma rede IPV4 (segundo a RFC 2734).

Pensa-se em interligar todos os cômodos da casa ao controlador através dele. O terminal de cada cômodo irá se comunicar com os aparelhos através de outros protocolos. Há um limite de 63 terminais que podem ser criados, o que não é um problema, pois a maioria das casas não possui tantos cômodos. O alcance dos cabos é de 4,5 metros para o conector de 9 pinos e 100 metros para a fibra ótica.

A transmissão de dados no FireWire 800 é feita usando uma sinalização digital NRZ, com codificação 8B/10B (codificando 8 bits em 10 para controle de erros), e usa uma função de cálculo de disparidade, que tenta manter um número de 1's igual ao de 0's. Isso para evitar flutuações de tensão no fio. A qualidade do meio (fios blindados e fibra-ótica) permite que grandes velocidades sejam atingidas.

2.3 Outras possibilidades:

Existem outras tecnologias para comunicação de dados que podem ser utilizadas na automação residencial. Elas não foram escolhidas pela sua banda de comunicação, mas por serem alternativas às anteriores.

2.3.1 – O EnOcean:

A EnOcean é uma empresa fundada em 2001 por um grupo de engenheiros da Siemens, e seu foco no mercado é o desenvolvimento de circuitos eletrônicos de comunicação wireless de consumo mínimo e com suporte a conversão de energia (geradores piezoelétricos, células solares, conversores térmicos, etc.). Seus módulos são projetados para não precisarem de baterias e serem altamente confiáveis e precisarem de pouca ou nenhuma manutenção.

Os sinais de rádio utilizam duas bandas de frequência: 325 e 868 Mhz. Eles possuem um alcance de até 30 metros e uma taxa de 125Kbps. Cada pacote de 14 bytes é enviado 3 vezes na rede, com um atraso randomizado, para evitar colisões.

A tecnologia da EnOcean é fechada, e uma rede de controle tem que ser projetada para atender as especificações do usuário, cada sala deve possuir uma central que se comunica com o controlador usando outros barramentos. Cada aparelho novo deve ser projetado e suas especificações são adicionadas aos softwares descontrolado. Por isso, suas aplicações estão limitadas aos aparelhos oferecidos pela empresa, que hoje incluem controle de iluminação, detectores de presença, atuadores para janelas e persianas, controle de ar-condicionado, sensores de umidade e temperatura. Ele acaba sendo uma solução mais adequada para escritórios do que para residências.

2.3.2 – O Bluetooth:

O Bluetooth foi desenvolvido para eliminar os fios de conexão com os periféricos do computador, criando o conceito de PANs, ou redes pessoais. Essas redes seriam a interligação dos aparelhos de um único usuário a uma central, preferencialmente para ligar periféricos ou fazer transferência de dados para serem carregados através de PDAs ou celulares.

Apesar de sua proposta inicial, o Bluetooth pode ser utilizado para automatizar alguns ambientes, mas uma residência inteira pode precisar da instalação de roteadores do sinal (seu alcance máximo é de 100 metros, mas os custos de energia aumentam bastante). A estrutura

do bluetooth geraria uma rede diferente, pois ela não é hierárquica, e todos os dispositivos estariam ligados com o mesmo controlador.

Pretende-se analisar também o Bluetooth como uma rede para comunicação com o usuário, ao invés de interconectar todos os dispositivos da casa, apenas usar um transmissor/receptor para comunicação com uma interface.

2.3.3 – O Zigbee:

Dentre a maioria dos sistemas wireless disponíveis, o Zigbee desponta como uma ótima solução. Desenvolvido em 2004, para aplicações de baixo custo e consumo, seu propósito é a implementação de redes em malha: um grande número de aparelhos interconectados que retransmitem entre si os seus dados. Por essa razão, uma rede Zigbee pode ser muito adequada para uma residência, pois permite a instalação de sensores dispersos pela casa, aumentando a inteligência do controle. As suas especificações são muito similares às do Z-WAVE.

As taxas de transmissão do Zigbee podem ser lentas (250Kbps a 2.4 Ghz ou 40Kbps na faixa ISM), mas os sensores de classe residencial não precisam de um data rate alto. Além disso, todos os transmissores são projetados para trabalhar com baterias por um mínimo de dois anos, o que diminuiria a necessidade de conexões elétricas novas na casa.

2.3.4 - Infravermelho:

Os sistemas de comunicação infravermelho tem um curtíssimo alcance, e são mais utilizados para enviar comandos de controle remoto para os aparelhos. Houve uma época que elas foram mais comuns em PDAs e video games, até serem substituídas pelo bluetooth. Pode-se utilizar laços de emissores e receptores infravermelhos para substituir os fios em qualquer situação, mas o Irda (Infrared Data Association) possui uma especificação chamada IrLAN, para fazer redes locais usando transmissores infravermelhos.

O meio físico dessa rede tem um alcance médio de 1 metro, com os aparelhos alinhados num cone mínimo de até 15°. A modulação é feita em banda de base, e alcança velocidades entre 2.4Kbps e 16 Mbps. É importante verificar a aplicabilidade desse tipo de tecnologia, se é mais barato e eficiente substituir cabos por pontes de infravermelho.

2.3.5 - Laço Magnético:

Uma outra possibilidade de se transmitir os dados para dentro da residência é através da aplicação de um laço magnético. Através da instalação de um fio circular ao redor da residência, pode-se utilizar receptores de indução magnética para a comunicação com os aparelhos diversos. Não foram encontradas empresas que trabalhem com esse tipo de tecnologia, e pretende-se avaliar o seu potencial como meio físico para comunicação residencial.

3. Projeto

O trabalho final consiste em texto de comparação entre as tecnologias analisadas, de acordo com os parâmetros descritos abaixo. Será necessário entrar em contato com empresas e representantes comerciais para se ter acesso aos equipamentos e se rodar os testes necessários de taxas transmissão de pacotes (específicos de dados ou de automação residencial), injeção de erros e medidas do desempenho dos meios físicos (alcance médio, atenuação, medida de ruído e sensibilidade à interferências).

O item 2.3.5, estudo do meio de transmissão por laço magnético, é um caso à parte, pois não possui protocolos específicos. Ele será testado apenas nos quesitos de arquitetura, custo de cabeamento e taxas de ruído e atenuação de sinal do meio físico.

- **Arquitetura:**
 - Descrição da arquitetura da rede de automação que pode ser montada a partir dos limites da tecnologia em questão.
 - Teste da possibilidade da arquitetura, medindo fisicamente os sinais.
- **Compatibilidade:**
 - Verificar se o padrão é compatível com as outras tecnologias, se ele pode encapsular os dados de outros protocolos sem maiores problemas.
 - Verificar a existência e o preço das pontes entre este padrão e os outros.
- **Controle de erros:**
 - Descrição das técnicas de controle de erros de cada tecnologia.
 - Medidas de ruído e atenuação de sinal no meio físico.
 - Medidas de taxas de erro e perdas de pacotes médios.
- **Custo**
 - Custo médio no Brasil do cabeamento, transmissores, pontes e roteadores.
 - Custo da instalação e projeto do cabeamento na residência;
 - Custo médio e quantidade de fabricantes que trabalham com equipamentos dessa tecnologia.
- **Serviços**
 - Capacidade de transmissão de dados, deve incluir velocidades máxima e mínima teóricas. Teste de velocidade média que a rede pode atingir num ambiente.
 - Serviços extras oferecidos pelo padrão, como técnicas de QoS e codificações adaptativas e o impacto que elas produzem.

4. Cronograma

Esse é o cronograma das atividades para a segunda parte do projeto. Designaram-se metas mês a mês para serem cumpridas, e o andamento do trabalho poderá ser medido através delas.

Mês	Metas
Dezembro/2009	<ul style="list-style-type: none"> - Seleção de documentos a serem lidos: Normas e Folhetos; - Seleção de trabalhos sobre desempenho das tecnologias; - Seleção de metodologias de medidas de desempenho; - Seleção de empresas que trabalhem com as tecnologias; - Texto Final – Montagem do corpo do texto;
Janeiro/2010	<ul style="list-style-type: none"> - Leitura dos documentos e livros selecionados; - Contato com as empresas e agendamento de visitas; - Listagem dos custos e produtos de cada tecnologia; - Pesquisa sobre cabeamento estruturado e orçamentos; - Texto Final – Pesquisa de custos, empresas e definição de arquiteturas;
Fevereiro/2010	<ul style="list-style-type: none"> - Projeto dos testbenchs para cada tecnologia; - Texto Final – Pesquisa de custos, empresas e definição de arquiteturas;
Março/2010	<ul style="list-style-type: none"> - Final dos projetos dos testbenchs; - Visitação das empresas e realização dos testes de desempenho – 25% completo; - Texto Final – Descrição dos testbenchs, término da listagem de preços e de arquiteturas.
Abril/2010	<ul style="list-style-type: none"> - Visitação das empresas e realização dos testes de desempenho – 60% completo;
Mai/2010	<ul style="list-style-type: none"> - Visitação das empresas e realização dos testes de desempenho; - Análise dos resultados dos testes; - Texto Final – inclusão e análise dos testes;
Junho/2010	<ul style="list-style-type: none"> - Análise dos resultados dos testes; - Texto Final – inclusão e análise dos testes;
Julho/2010	<ul style="list-style-type: none"> - Término do Texto Final;

5. Conclusão

O presente trabalho contém uma descrição das tecnologias de comunicação existentes no mercado que são adequadas para automação residencial. Inicialmente, os protocolos industriais foram analisados, e suas principais características foram apontadas. O ponto mais destacado é que eles possuem taxas de comunicação muito baixas, e só são adequados para enviar mensagens de automação.

Em seguida, uma série de outros padrões foram listados e analisados como alternativas. Eles foram escolhidos pela sua diversidade de meios físicos, que é um dos maiores limitadores dos protocolos industriais, e uma das maiores preocupações de custo. Também procurou-se escolher protocolos com velocidades diferentes, pois nota-se que redes de alta velocidade que podem transmitir outros tipos dados podem ter um maior custo/benefício, por atenderem as necessidades de conectividade e comunicação de dados dos clientes.

6. Bibliografia

JAIN, Raj. "The art of computers systems performance analysis: techniques for experimental design, measurement, simulation and modeling". New York: John Willey, c1991.

SILVA, Bruno Dal Bó; CHAGAS, Guilherme; LORENCETTI, Márlon Allan. "Transmissor de áudio com laço magnético". Porto Alegre, 2008

[1] Bolzanni, Caio. Desmistificando a Domótica, Disponível em: < <http://www.aureside.org.br/artigos> >. Acesso em setembro de 2009.

[2] Disponível em < <http://www.eddriscoll.com/timeline.html> >.

[3] MURATORI, José Roberto. Integrador de Sistemas Residenciais: um novo profissional. Disponível em < <http://www.aureside.org.br/artigos> >. Acesso em setembro de 2009.

[4] Projeto de Interiores e Automação. Disponível em < <http://www.aureside.org.br/artigos> >. Acesso em setembro de 2009.

[5] Disponível em < <http://www.meticube.com/>>. Acesso em outubro de 2009

[6] Disponível em < http://guides.wkbw.com/Speech_Recognition-a855421.html >. Acesso em outubro de 2009.

[7] MIRANDA, Pollyana. A Integração Pede Parâmetros. Disponível em: < http://www.institutodofuturo.com.br/downloads/lumiere_automacao.pdf >. Acesso em setembro de 2009.

[8] Protocolos de automação residencial. Disponível em < <http://www.aureside.org.br/temastec/default.asp?file=protocolos.asp&menu=temas> >. Acesso em setembro de 2009.

[8] Home Technology/Network Standards and Specs. Disponível em < <http://www.hometoys.com/standards.htm> >. Acesso em setembro de 2009

[8] Home automation. Disponível em < http://en.wikipedia.org/wiki/Home_automation >. Acesso em setembro de 2009.

[9] Disponível em < <http://www.intraworks.net/> >. Acesso em outubro de 2009

[10] Disponível em < <http://www.homecontrolcanada.com/> >. Acesso em outubro de 2009